

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES E LOGÍSTICA

EDUARDO GREGÓRIO FLORIANI

ANÁLISE DE PROPOSTAS PARA MELHORIA DO TRÁFEGO DE UMA REGIÃO
CENTRAL UTILIZANDO O SOFTWARE DE SIMULAÇÃO SUMO

Joinville

2017

EDUARDO GREGÓRIO FLORIANI

ANÁLISE DE PROPOSTAS PARA MELHORIA DO TRÁFEGO DE UMA REGIÃO
CENTRAL UTILIZANDO O SOFTWARE DE SIMULAÇÃO SUMO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia de Transportes e Logística no
Curso de Engenharia de Transportes e
Logística da Universidade Federal de
Santa Catarina, Centro de Joinville.

Orientadora: Professora Dra. Christiane
Wenck Nogueira Fernandes

Coorientador: Professor Dr. Cassiano
Augusto Isler

Joinville

2017

ANÁLISE DE PROPOSTAS PARA MELHORIA DO TRÁFEGO DE UMA REGIÃO
CENTRAL UTILIZANDO O SOFTWARE DE SIMULAÇÃO SUMO

EDUARDO GREGÓRIO FLORIANI

Esta monografia foi julgada e aprovada como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Transportes e Logística na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Joinville.

Joinville, 28 de junho de 2017.

Banca examinadora:

Professora Dra. Christiane Wenck Nogueira Fernandes
Orientadora

Professor Dr. Cassiano Augusto Isler
Coorientador

Professor Dr. Pablo Andretta Jaskowiak
Membro 1

Professor Dr. Benjamin Grando Moreira
Membro 2

“A simplicidade é o último grau da sofisticação. ”

(Leonardo da Vinci)

RESUMO

O presente trabalho faz uma comparação entre o cenário real atual e duas propostas a serem implementadas na região central da cidade de Joinville com três semáforos em sequência. A primeira proposta considera a aplicação do método de Webster para determinação do tempo semafórico, já a segunda, além de aplicar Webster, avalia a remoção do semáforo da interseção intermediária, sendo que ambos os cenários utilizam os semáforos sincronizados. Para realizar este estudo, foram coletados dados do tráfego nos horários de pico da região: 7h30min às 9h30min e 13h30min às 15h30min de uma Terça e Quarta de maio de 2017, que são considerados dias típicos de tráfego. Para a análise e simulação, foi utilizado o software de código aberto Simulation of Urban Mobility (SUMO), que permite uma modelagem completa do sistema de tráfego e aferição de resultados.

Palavras-chave: Semáforo. Análise de cenários. Simulação de tráfego. SUMO. Webster.

ABSTRACT

The following work present a comparison among the actual real scenario and two possible improvements to be implemented in the central area of Joinville with three traffic lights in sequence. The first one considers the application of the Webster method to set the traffic lights time, the second, besides applying Webster, evaluate the removal of the traffic light of the intermediate intersection, and both of them use synchronized traffic lights. To carry out this study, traffic data were collected at peak times of the region: 7h30min to 9h30min and 13h30min to 15h30min in a Tuesday and a Wednesday in May 2017, which are considered typical traffic days. For the analysis and simulation, it used the open source software named by Simulation of Urban Mobility (SUMO), which allows a complete modeling of the traffic system and gauging results.

Key words: Traffic light. Scenario analysis. Traffic simulation. SUMO. Webster method.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Efeito da velocidade do carro líder no intervalo de tempo entre os carros seguintes.....	13
Figura 2: Relação entre velocidade e volume.....	18
Figura 3: Placas de “Pare” e “Dê a preferência”.....	22
Figura 4: Primeiro semáforo inventado.....	23
Figura 5: Localização das interseções analisadas	39
Figura 6: Vista aérea da região de estudo.....	40
Figura 7: Diagrama de movimentos para as interseções 1 e 2.....	41
Figura 8: Diagrama de movimentos para a interseção 3.....	41
Figura 9: Diagrama de fases para as interseções 1 e 2.....	42
Figura 10: Diagrama de fases para a interseção 3.....	42
Figura 11: Planilha utilizada para a contagem dos veículos.....	43
Figura 12: Fluxo de veículos em cada período de 1 hora.....	44
Figura 13: Velocidade média individual no período de 12 horas.....	44
Figura 14: Relação entre o fluxo e a velocidade média em períodos de 15 minutos....	45
Figura 15: Largura da via nas aproximações.....	46
Figura 16: Tempos semafóricos para a interseção da Av. JK com a Rua 9 de Março no período da manhã.....	47
Figura 17: Tempos semafóricos para a interseção das Ruas João Colin e XV de Novembro no período da manhã.....	47
Figura 18: Tempos semafóricos para a interseção das Ruas João Colin e Princesa Isabel no período da manhã.....	48
Figura 19: Tempos semafóricos para a interseção da Av. JK com a Rua 9 de Março no período da tarde.....	49
Figura 20: Tempos semafóricos para a interseção das Ruas João Colin e XV de Novembro no período da tarde.....	49
Figura 21: Tempos semafóricos para a interseção das Ruas João Colin e Princesa Isabel no período da tarde.....	50
Figura 22: Planilha organizacional dos dados de contagem.....	50
Figura 23: Diagrama de tempos para os semáforos pelo método de Webster.....	54
Figura 24: Configuração do arquivo de rotas para o período da manhã.....	57

Figura 25: Box plot do parâmetro Ended no período da manhã.....	60
Figura 26: Box plot do parâmetro MeanTravelTime no período da manhã.....	60
Figura 27: Box plot do parâmetro QueueLength no período da manhã.....	61
Figura 28: Box plot do parâmetro QueueLength>5km/h no período da manhã.....	61
Figura 29: Box plot do parâmetro MeanSpeed no período da manhã.....	62
Figura 30: Box plot do parâmetro Ended no período da tarde.....	63
Figura 31: Box plot do parâmetro MeanWaitingTime no período da tarde.....	63
Figura 32: Box plot do parâmetro MeanTravelTime no período da tarde.....	64
Figura 33: Box plot do parâmetro QueueLength no período da tarde.....	64
Figura 34: Box plot do parâmetro QueueLength>5km/h no período da tarde.....	65
Figura 35: Box plot do parâmetro MeanSpeed no período da tarde.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fator de equivalência para diferentes tipos de veículos.....	16
Tabela 2: Valores de fluxo de saturação para larguras de vias inferiores a 5,5m.....	19
Tabela 3: Efeitos da localização das aproximações sobre o fluxo de saturação.....	19
Tabela 4: Consequências da Implantação de sinalização semafórica.....	24
Tabela 5: Volumes veiculares mínimos.....	25
Tabela 6: Interrupção do tráfego contínuo.....	26
Tabela 7: Espaçamento mínimo entre para instalação de semáforos.....	27
Tabela 8: Classificação das vias urbanas.....	28
Tabela 9: Número de veículos equivalentes para todas as interseções.....	51
Tabela 10: Valores das variáveis de fluxo no período da manhã.....	51
Tabela 11: Valores das variáveis de fluxo no período da tarde.....	52
Tabela 12: Valores utilizados para o dimensionamento dos tempos semafóricos.....	52
Tabela 13: Tempo do ciclo ótimo das interseções em cada período.....	53
Tabela 14: Tempos do método de Webster em cada período.....	53
Tabela 15: Probabilidade de veículos em cada interseção.....	56
Tabela 16: Descrição dos parâmetros utilizados para análise dos resultados.....	58
Tabela 17: Resultados para o período da manhã.....	59
Tabela 18: Resultados para o período da tarde.....	62

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
AV. JK. – Avenida Juscelino Kubitschek
CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito
CTB – Código de Trânsito Brasileiro
DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito
DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (German Aerospace Center)
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EPG – Engineering Policy Guide
FHP – Fator Hora Pico
FHWA – Federal Highway Administration
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPPUJ – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Joinville
MCT – Ministério de Ciência e Tecnologia
MUTCD – Manual on Uniform Traffic Control Devices
vdp – Veículos por dia
vph – Veículos por hora
veic/htv – Veículo por hora de tempo de verde
VHP – Volume Hora Pico
SUMO – Simulation of Urban Mobility
TRB – Transportation Research Board.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	13
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos específicos	14
2. <u>REFERENCIAL TEÓRICO</u>	15
2.1 ENGENHARIA DE TRÁFEGO	15
2.1.1 Definições e características do tráfego	16
2.1.2 Relação entre velocidade e volume	18
2.1.3 Fluxo de saturação	18
2.2 OPERAÇÃO NAS INTERSEÇÕES	20
2.2.1 Interseção sem sinalização	21
2.2.2 Interseção com sinalização	21
2.3 SEMÁFOROS	22
2.3.1 História	22
2.3.2 Critérios para implantação	24
2.3.3 Operação	28
2.3.4 Dimensionamento pelo método de Webster	29
2.3.5 Coordenação semafórica	31
2.4 SUMO – SIMULATION OF URBAN MOBILITY	32
2.4.1 Características e definições	33
2.4.2 Criação da rede de tráfego	33
2.4.3 Geração de fluxo e controladores de Tráfego	34
2.4.4 Dados de saída	34
3. <u>METODOLOGIA</u>	36
4. <u>ESTUDO DE CASO</u>	39
4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	39
4.1.1 Diagrama de movimentos e diagrama de fases	41
4.2 COLETA DE DADOS	43
4.2.1 Horário de pico	43
4.2.2 Fluxo de saturação	46

4.2.3	Tempos semafóricos do cenário real.....	46
4.2.4	Contagem volumétrica e contagem classificatória.....	50
4.3	DIMENSIONAMENTO SEMAFÓRICO PELO MÉTODO DE WEBSTER.....	52
4.3.1	Diagrama de tempo.....	54
4.4	SIMULAÇÃO MICROSCÓPICA.....	55
4.4.1	Arquivo .net.....	55
4.4.2	Arquivo .rou.....	56
4.4.3	Arquivo .sumocfg.....	58
4.5	ANÁLISE DE RESULTADOS.....	59
5.	<u>CONSIDERAÇÕES FINAIS</u>	67
5.1	RECOMENDAÇÕES A ESTUDOS FUTUROS.....	68
	<u>REFERÊNCIAS</u>	69
	APÊNDICE A – PLANILHA DE CONTAGEM DA HORA DE PICO	73
	APÊNDICE B – PLANILHA DE CONTAGEM DOS TEMPOS SEMAFÓRICOS	74
	APÊNDICE C – MÉTODO DE CONTAGEM DE VEÍCULOS	75
	APÊNDICE D – REDE CRIADA NO SOFTWARE NETedit	76
	APÊNDICE E – CONFIGURAÇÃO DO ARQUIVO DE ROTAS	77
	APÊNDICE F – SUMO EM EXECUÇÃO	78

1 INTRODUÇÃO

Segundo Senna (2014), a economia dos países depende de sua infraestrutura, porém, Stern (1969), relata que o crescente ritmo da indústria automobilística resultaria numa rápida saturação das já limitadas e mal projetadas vias urbanas. Percebe-se então que, em função desse crescimento não controlado, problemas de trânsito vieram e continuam a ser observados diariamente nos centros urbanos.

Uma das principais dificuldades encontradas são os congestionamentos e as adversidades por eles geradas, como poluição atmosférica, aumento no tempo de viagem e, por consequência, estresse. Garcia-Castro e Monzon (2014) afirmam que os engarrafamentos são responsáveis por um aumento de até 30% na emissão de CO² e de até 40% no consumo de combustível.

Um dos locais que merecem atenção no contexto de gerenciamento de tráfego urbano são os cruzamentos de vias. Neste ponto, por consequência da complexidade operacional ocorre uma série de conflitos que, eventualmente, resultam em acidentes caso a solução estabelecida para o controle de tráfego local não seja a adequada.

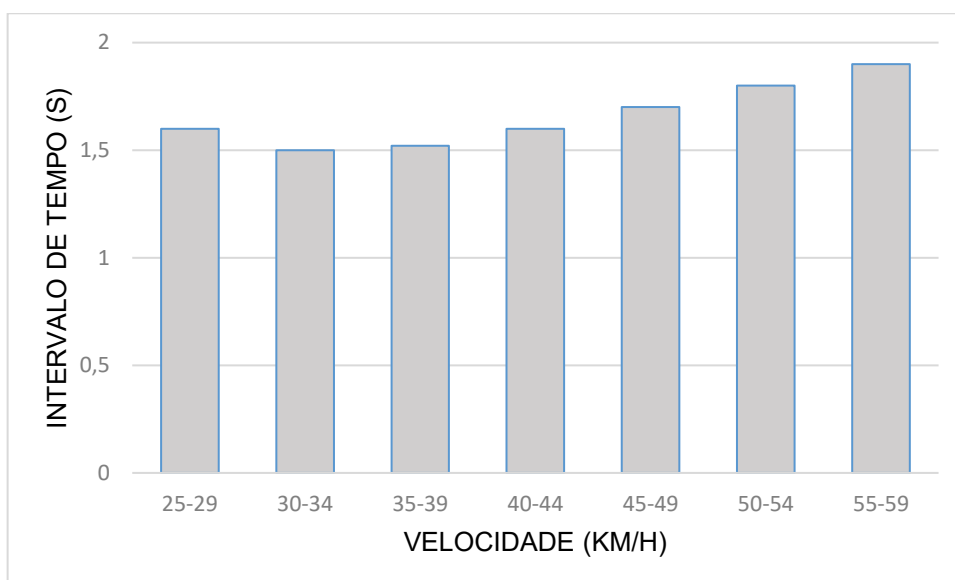
Utiliza-se no Brasil, para tentar melhorar a fluidez e organização, os semáforos e, em menor proporção, as rotatórias. De acordo com o Manual on Uniform Traffic Control Devices da Federal Highway Administration (2009), deve-se realizar um estudo de engenharia que examine as particularidades do trânsito, os hábitos dos pedestres e a condição física do local, com o intuito de determinar se é sustentável a instalação de um semáforo.

Uma terceira solução, já implementada em cidades pequenas e médias da Europa como Drachten (Holanda) e Portishead (Inglaterra), é a retirada dos semáforos de trânsito. De acordo com McKone (2010), com esta medida percebe-se uma melhor conduta por parte dos motoristas. Nesta perspectiva, três consequências foram observadas nas cidades onde a medida foi colocada em prática: menos acidentes e maior fluidez no trânsito, ambos decorrentes da menor velocidade exercida pelos

motoristas, sendo que, esse fator, também exerce influência sobre a capacidade da via.

De acordo como Pasanen (2004), a capacidade de uma via depende do intervalo de tempo entre veículos sucessivos. Quanto mais devagar o primeiro carro de uma fila andar, mais próximos os carros seguintes estarão entre si e, do ponto de vista da capacidade, quanto mais carros passam em um menor intervalo de tempo, maior é o fluxo da via. Visando esse resultado, a velocidade ótima se encontra entre 30 e 40 km/h (Figura 1).

Figura 1 – Efeito da velocidade de condução do carro líder no intervalo de tempo entre os carros seguintes.



Fonte: Pasanen (2004).

Sendo assim, para o funcionamento adequado de uma cidade, são necessárias manutenções constantes em suas infraestruturas, a fim de manter a organização e acompanhar o crescimento urbano. Neste sentido, este trabalho tem foco na adequação viária, com o intuito de analisar o tráfego de uma região central e propor mudanças para buscar melhoria do tráfego utilizando um simulador de tráfego.

1.1 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

Apesar de vários métodos e programas computacionais de coordenação semafórica terem sido desenvolvidos nos últimos 40 ou 50 anos, a maioria das cidades

brasileiras não utilizam essas ferramentas, seja porque não possuem os programas específicos para esse fim ou pela falta de conhecimento mais aprofundado sobre a utilização dessas ferramentas (DUTRA, 2005).

Portanto, como grande parte das cidades brasileiras ainda não dispõem de avançados sistemas de monitoramento e não costumam seguir critérios bibliográficos para instalação de sinalização e dispositivos de controle de tráfego (DUTRA, 2005), este trabalho busca estabelecer um comparativo entre as possíveis melhorias que podem ser implementadas visando maior fluidez às interseções viárias. Neste caso em especial, será utilizado para estudo os primeiros 200 metros da rua Dr. João Colin, região composta por três interseções semaforizadas em sequência.

1.2 OBJETIVOS

Nesta seção são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar possíveis soluções para o problema de tráfego de uma região central da cidade de Joinville, Santa Catarina utilizando o software de simulação SUMO.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Utilizar o levantamento bibliográfico referente às normas para implantação de semáforos para definir os parâmetros a serem utilizados na simulação;
- b) Identificar os principais indicadores de desempenho de tráfego;
- c) Implementar o ambiente de tráfego no SUMO em um estudo de caso na região entre o final da Avenida Juscelino Kubitschek até a interseção das ruas Dr. João Colin com a Princesa Isabel.
- d) Comparar o desempenho do tráfego do cenário atual com dois cenários propostos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Com o objetivo de compreender a estrutura e as variáveis envolvidas neste tema, foi elaborado este referencial teórico com uma contextualização sobre a engenharia de tráfego, os conceitos fundamentais do planejamento dos sistemas de controle de tráfego e o software SUMO.

2.1 A ENGENHARIA DE TRÁFEGO

Roess, Prassas e Mcshane (2011) definem a Engenharia de Tráfego como sendo a parte da Engenharia de Transportes que trata do o planejamento, projeto geométrico e operações de tráfego em vias urbanas e rurais, com o objetivo de obter uma via com maior segurança e eficiência.

Para a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1983):

Engenharia de tráfego é a parte da Engenharia que trata do planejamento do tráfego e do projeto e operação das vias públicas e de suas áreas adjacentes, assim como seu uso para fins de transporte, sob o ponto de vista de segurança, conveniência e economia.

Para medir a eficiência do tráfego e a segurança são necessários conhecimentos relativos ao fluxo de veículos e ao comportamento dos motoristas, o que torna essa análise complicada pois uma variável depende da outra e ambas dependem do cenário envolvido.

Os parâmetros analisados na Engenharia de Tráfego podem ser classificados em macroscópicos, na qual a corrente de tráfego é analisada como variáveis contínuas ou microscópicos, em que o comportamento de cada veículo é analisado individualmente.

Para obter os dados utilizados em um estudo de tráfego são realizadas pesquisas de campo. Elas podem ser globais, quando o número de veículos em um trecho da via é registrado sem considerar o sentido, direcionais, quando a contagem é registrada por sentido de fluxo ou classificatórias, quando o volume é registrado

distinguindo os tipos de veículos. Essas contagens podem ser feitas manualmente ou automaticamente (DNIT, 2006).

2.1.1 Definições e Características do tráfego

As características do tráfego são essenciais para a realização de estudos na Engenharia de Tráfego. Nesta seção, com base no Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume V do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN, 2007) e no Manual de Semáforos do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN, 1984), serão brevemente definidos os termos utilizados neste trabalho.

- a) *Capacidade de uma aproximação*: Número máximo de veículos que poderá passar por uma faixa ou pista durante um período de tempo determinado, sob as condições reais predominantes na via e no tráfego.
- b) *Densidade*: Número de veículos que ocupam um determinado espaço da via em um instante. Utiliza-se como unidade veículos/km.faixa.
- c) *Headway*: Intervalo de tempo entre veículos sucessivos na corrente de tráfego.
- d) *Volume de tráfego equivalente*: Volume de tráfego expresso em termos de unidades de carros de passeio (ucp). Na Tabela 1 são apresentados os fatores de equivalência usualmente utilizados.

Tabela 1 – Fator de equivalência para diferentes tipos de veículos.

<i>Tipo</i>	<i>Fator de Equivalência</i>
Automóvel	1,00
Moto	0,33
Ônibus	2,00
Caminhão	2,5

Fonte: DENATRAN (2014).

De acordo com o Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006), vias de características geométricas idênticas podem apresentar diferentes capacidades, pois

são influenciadas também pela composição do tráfego que as utiliza. Para estudos de capacidade pode ser conveniente representar cada tipo de veículo em unidade de carros de passeio (ucp), ou seja, número equivalente de carros de passeio que exerce os mesmos efeitos na capacidade da rodovia que o veículo referido.

- e) *Fluxo*: Número de veículos que passam por uma seção de uma via durante uma unidade de tempo.
- f) V_{15max} : Volume de fluxo existente nos 15 minutos de maior fluxo que ocorre na hora de pico.
- g) *Velocidade média*: Extensão do trecho dividido pelo tempo médio de viagem gasto pelos veículos que atravessam o trecho, incluindo o tempo perdido parado em retenções.
- h) *Volume de tráfego*: Número de veículos que passam por uma seção de uma via, ou de uma determina faixa, durante uma unidade de tempo. Geralmente é utilizada a unidade veículos por dia, vpd, ou veículos por hora, vph.
- i) *Volume hora pico (VHP)*: Média horária do fluxo de veículos que passam pela interseção durante um horário de pico específico.
- j) r_{fsi} : Resultado da divisão entre o volume da hora de pico pelo fluxo de saturação.
- k) *Fator hora pico (FHP)*: Ajuste relativo à proporção do volume da hora pico em relação aos 15 minutos com maior fluxo.

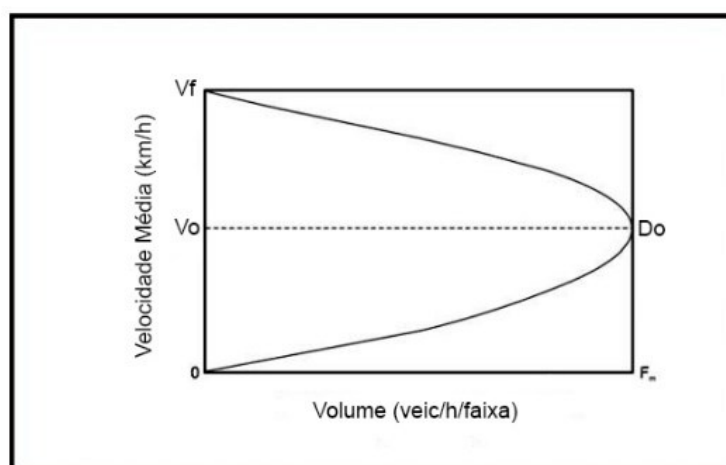
$$FHP = \frac{VHP}{4.V_{15max}} \quad (2)$$

Teoricamente, o valor de FHP varia entre 0,25 (fluxo totalmente concentrado em um período de 15 minutos) e 1,00 (fluxo completamente uniforme). Segundo o Manual de Estudo de Tráfego (DNIT, 2006), o FHP para áreas urbanas costuma variar entre 0,80 a 0,98.

2.1.2 Relação entre velocidade e volume

De acordo com o modelo de Greenshield, observando a velocidade de fluxo livre (V_f) e com um incremento do fluxo, a velocidade média é reduzida até chegar ao ponto de densidade ótima (D_o), que corresponde ao fluxo máximo que a via pode carregar. A partir deste ponto, o aumento no número de veículos provoca diminuição da velocidade e também do volume (Figura 2).

Figura 2 – Relação entre velocidade e volume (Greenshield).



Fonte: DNIT (2006).

Esta curva é sensível a fatores como frequência de entradas e saídas, condições do tempo e número de acidentes, portanto, ela varia de seção para seção de uma via.

2.1.3 Fluxo de saturação

É o fluxo que seria obtido se houvesse uma fila de veículos na aproximação e a ela fossem dados 100% do tempo de verde do cruzamento. Sua unidade é veic/htv (veículo por hora de tempo de verde). Para vias urbanas pode ser estimado pela seguinte equação (DENATRAN, 1984):

$$S = 525 \cdot L \quad (1)$$

Onde L é a largura da pista de rodagem em metros, sendo a equação válida para vias com larguras entre 5,5m e 18,0m. Para vias com larguras inferiores (Tabela 2), os valores são pré-definidos.

Tabela 2 – Valores de fluxo de saturação para larguras de vias inferiores a 5,5m.

L(m)	3	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8	5,2
S(veic/htv)	1850	1875	1900	1950	2075	2250	2475	2700

Fonte: DENATRAN (1984).

É importante salientar que o valor obtido deverá sofrer correção dependendo da declividade, composição do tráfego, conversões, veículos estacionados e a localização da via, tendo a última, forte influência sobre este estudo. De acordo com o Manual de Semáforos (DENATRAN, 1984), o efeito da localização pode aumentar ou diminuir o fluxo de saturação, conforme descrito na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 – Efeitos da localização das aproximações sobre o fluxo de saturação.

<i>Qualidade do Local</i>	<i>Características da localização</i>	<i>Fator de correção</i>
Bom	Sentidos de tráfego separados por canteiro central; Pouca interferência de pedestres, veículos estacionados ou conversão à esquerda; Boa visibilidade e raios de curvatura adequados.	1,2
Médio	Condições medianas, algumas características boas e outras ruins;	1
Ruim	Velocidade média baixa; Interferência de veículos parados, pedestres e/ou conversão à esquerda; Má visibilidade; Ruas de centros comerciais movimentados.	0,85

Fonte: DENATRAN (1984).

Essa tabela representa o resultado dos efeitos combinados de outros fatores que também interferem no fluxo de saturação e que podem ser considerados dependentes do uso do solo na região onde se encontra a interseção.

2.2 OPERAÇÃO NAS INTERSEÇÕES

As interseções podem ser: sem sinalização, quando há baixo fluxo de veículos; com sinalização, quando em uma das vias há maior fluxo de veículos ou quando o cruzamento é de vias de diferentes hierarquias; ou com semáforos, quando há um fluxo expressivo em ambas as vias, que resultam em elevado tempo de espera nas aproximações.

De acordo com a Transportation Research Board (TRB, 2010), uma maneira de qualificar a interseção é analisando os parâmetros de desempenho microscópicos. No estudo de tráfego em interseções não semaforizadas esses parâmetros são:

- a) *Brecha crítica (gap crítico)*: Menor intervalo entre a passagem de dois veículos consecutivos na via principal em que o condutor do automóvel que está na via secundária aceita para atravessar o cruzamento.
- b) *Tempos de posicionamento (follow-up time)*: Intervalo de tempo entre a partida do primeiro veículo e a partida do segundo veículo, em condição de fila, utilizando a mesma brecha.
- c) *Atraso*: Tempo médio perdido pelos veículos parados esperando passar pelo cruzamento.

Já para interseções semaforizadas, os parâmetros a serem considerados são: O intervalo (headway) entre veículos sucessivos na mesma faixa quando o semáforo está verde; o tempo perdido até os carros se movimentarem quando o sinal muda de vermelho para verde; e o tempo perdido no entreverdes (soma do amarelo mais vermelho total).

2.2.1 Interseção sem sinalização

Segundo o CTB (2008), caso a interseção não seja sinalizada e não haja cruzamento com alguma rodovia, a preferência é do veículo que chega pela direita do condutor, com exceção das rotatórias, onde a preferência é do veículo que está circulando. Caso exista faixa de pedestres, estes sempre têm a preferência.

Este tipo de cruzamento não é recomendado, pois, de acordo com Ortolani (2003), há probabilidade da ocorrência de acidentes e o custo de implantação de placas de sinalização é baixo, o que torna injustificável manter uma interseção com essa característica.

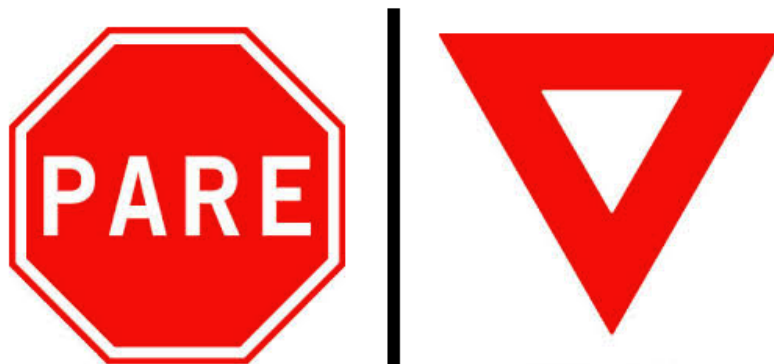
2.2.2 Interseção com sinalização

O Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume II dispõe de alguns princípios para sinalização de trânsito que, além de legalidade, clareza (transmitir informações de fácil compreensão), padronização (seguir um padrão legalmente estabelecido), também devem ser citados:

- a) *Suficiência*: A sinalização deve chamar a atenção para o que é realmente importante.
- b) *Precisão e confiabilidade*: Deve estar em local que seja realmente necessário e correspondente à situação existente para que haja credibilidade dos usuários.
- c) *Visibilidade e legibilidade*: Estar localizada em local que possa ser visto a distância suficiente.
- d) *Manutenção e conservação*: Deve estar sempre visível, bem conservada e, quando necessário, deve ser trocada acompanhando a dinâmica de alterações na operação da via.

As duas principais sinalizações verticais que podem ser aplicadas para o controle em uma interseção são os sinais de “Pare” e “Dê a preferência” (Figura 3). Essas duas sinalizações são instaladas em diferentes condições. O primeiro é recomendado para evidenciar ou alterar a regra geral do direito de passagem e sua aplicação deve ocorrer quando a parada do veículo é realmente necessária, sendo a redução de velocidade insuficiente para garantir a segurança

Figura 3 – Placas de “Pare” e “Dê a preferência”.



Fonte: CONTRAN (2007).

Já a sinalização de “Dê a preferência” indica ao motorista que ele deve reduzir a velocidade e, se necessário, parar. Ela geralmente é usada em três situações: quando a placa de “Pare” é demasiadamente restritiva, quando existe uma boa visibilidade entre os veículos ou nos acessos onde existem vias preferenciais, a fim de não atrapalhar o fluxo contínuo de veículos.

Outras placas comumente instaladas em interseções são as de proibições e indicações de sentido de fluxo, principalmente em regiões com muitas vias de sentido único ou quando há uma rotatória.

As interseções semaforizadas, por serem o foco neste trabalho, serão abordadas detalhadamente na próxima seção.

2.3 SEMÁFOROS

Segundo o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito (2004), a sinalização semafórica tem por objetivo informar ao usuário o direito de passagem em uma determinada zona de conflito, onde lhe é permitido movimentar-se em um espaço e tempo definidos.

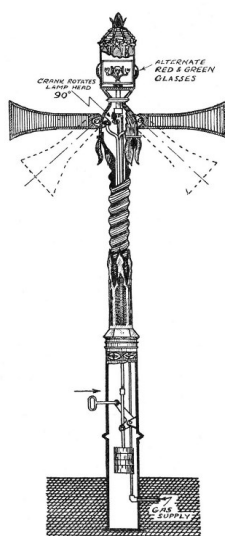
Nesta seção será abordada a história, os critérios para implantação, o método de dimensionamento e a operação dos semáforos.

2.3.1 História

O primeiro semáforo (Figura 4) foi inventado por um engenheiro ferroviário chamado John Peake Knight e instalado em Londres em 10 de dezembro de 1868. O

equipamento, que era operado manualmente por um policial, tinha 8 metros de altura e era composto de duas asas articuladas que podiam permanecer em duas posições: horizontal (*pare*) e inclinada 45° (*cuidado*). Ao escurecer, um lampião a gás iluminava a lente vermelha em conjunto com a posição *pare* e, uma outra lente verde na posição *cuidado*. Contudo, este semáforo tinha uma falha na construção, o que o fez ser desativado poucas semanas depois em razão da possibilidade de explosões (MAXEINER, 2015).

Figura 4 – Primeiro semáforo inventado.



Fonte: Mexeiner (2015).

Pouco mais de 40 anos depois, em 1912, um oficial de polícia de Salt Lake City chamado Lester Wire criou o primeiro semáforo elétrico. Além das duas posições luminosas, verde e vermelho, também havia uma sirene integrada, porém, a proposta de uso era diferente. Esse dispositivo era controlado pela central de polícia e pelos bombeiros e quando havia uma emergência a sirene era ativada junto com a luz vermelha. Dessa forma, os veículos oficiais tinham preferência e não precisavam lidar com o trânsito. Portanto, a invenção de Lester não impactava no tráfego geral, servindo apenas como uma ferramenta de auxílio dos serviços de emergência (MUELLER, 1970).

Apenas em 1920, em Detroit, um policial chamado William Potts, construiu um semáforo elétrico muito semelhante aos utilizados atualmente, com a cor vermelha indicando *pare*, amarelo *cuidado* e verde *prossiga*. Outro diferencial era que ele permitia o controle de uma interseção de quatro vias. Contudo, William não patenteou

sua invenção, sendo que em 1923, Garrett Morgan foi quem obteve a patente de um semáforo automático com três posições, que acabou sendo vendida para a General Electric, a qual foi responsável pelo início da produção em massa dos equipamentos, (CURTISS, 1995).

2.3.2 Critérios para implantação

De acordo com a Federal Highway Administration (2009), a proposta de um dispositivo de controle de tráfego é promover segurança e eficiência na via, sendo responsável pela coordenação dos movimentos de todos os usuários que fazem parte do sistema viário em questão.

Conforme o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito elaborado pelo CONTRAN (2007), o uso apropriado da sinalização semafórica produz impactos positivos no controle de trânsito. Entretanto, quando utilizada de forma inadequada, apresenta consequências que causam prejuízos ao desempenho e segurança do trânsito (Tabela 4).

Tabela 4 – Consequências da Implantação de sinalização semafórica

<i>Implantação justificada</i>	<i>Implantação não justificada</i>
Aumento da segurança viária	Aumento da ocorrência de acidentes de trânsito.
Redução de atrasos.	Imposição de atrasos excessivos.
Controle do direito de passagem dos movimentos de veículos e pedestres com a consequente redução de conflitos.	Indução ao desrespeito à sinalização devido à ociosidade na operação.
Melhoria da fluidez do trânsito, na medida em que promove distribuição adequada dos tempos dos movimentos.	Gastos desnecessários de recursos públicos.
Credibilidade por parte dos usuários em relação à sinalização	Descrédito em relação à sinalização.

Fonte: CONTRAN (2007)

Portanto, antes de decidir pela implantação de sinalização semafórica, deve ser avaliada a viabilidade da adoção de medidas alternativas, tais como:

- a) Definição de preferência de passagem;
- b) Remoção de interferências que prejudiquem a visibilidade;
- c) Melhoria na iluminação;
- d) Adequação das sinalizações horizontal e vertical;
- e) Redução das velocidades nas aproximações;
- f) Adequação na geometria;
- g) Proibição de estacionamento;
- h) Implantação de refúgio para pedestres;
- i) Alteração de circulação;
- j) Inversão da preferência de passagem;
- k) Direcionamento de pedestre para locais de travessia seguros;
- l) Reforço da sinalização de advertência.

No Brasil, o DENATRAN (1984) estabelece nove critérios que justificam a implantação semafórica, bastante semelhante aos parâmetros norte-americanos, conforme esclarecido os itens a seguir:

a) Volumes veiculares mínimos:

Deverá ser o volume médio de 8 horas no período de maior fluxo na interseção, contando preferencialmente das 07h às 20h. Caso não haja contagem durante todo o período, o volume médio poderá ser estimado a partir dos volumes disponíveis. A Tabela 5 expõe os volumes que justificam a implantação de um semáforo:

Tabela 5 – Volumes veiculares mínimos.

<i>Número de faixas de tráfego por aproximação</i>		<i>Veíc/hora na preferencial, nos dois sentidos</i>	<i>Veíc/hora na secundária, na aproximação mais carregada</i>
<i>Preferencial</i>	<i>Secundária</i>		
1	1	500	150
2 ou mais	1	600	150
2 ou mais	2 ou mais	600	200
1	2 ou mais	500	200

Fonte: DENATRAN (1984).

b) Interrupção de tráfego contínuo:

Baseado na tentativa de minimizar os atrasos excessivos, este critério é utilizado quando veículos da via secundária apresentam grande dificuldade em cruzar ou entrar no fluxo da via principal. Os volumes mínimos que justificam a implementação são mostrados na Tabela 6.

Tabela 6 – Interrupção de tráfego contínuo.

<i>Número de faixas de tráfego por aproximação</i>		<i>Veículos/h, na preferencial, nos dois sentidos</i>	<i>Veículos/h, na secundária, na aproximação mais carregada</i>
<i>Preferencial</i>	<i>Secundária</i>		
1	1	750	75
2 ou mais	1	900	75
2 ou mais	2 ou mais	900	100
1	2 ou mais	750	100

Fonte: DENATRAN (1984).

c) Volumes conflitantes em interseções de cinco ou mais aproximações:

Inicialmente deve-se buscar a alteração da interseção para outra equivalente a quatro aproximações, através da restrição de sentido e circulação. Caso não seja possível recomenda-se a implantação do semáforo se for verificado volume equivalente total de no mínimo 800 veículos por hora.

d) Pedestres que cruzam a via principal

A instalação semafórica é justificada quando há pelo menos 250 pedestres/h em ambos os sentidos da travessia, associada a 600 veículos/h nos dois sentidos da via sem canteiro ou 1000 veículos/h nos dois sentidos da avenida com canteiro central de pelo menos 1 metro;

e) Índice de acidentes e os diagramas de colisão

Critério voltado para casos em que o semáforo é capaz de evitar acidentes registrados, de no mínimo cinco acidentes com vítimas por ano;

f) Melhoria de sistema progressivo

Quando a via em estudo esteja operando com sistemas de coordenação semaforica, a implantação de um novo semáforo é justificada se contribuir para o ajuste da velocidade de progressão e manutenção do pelotão.

g) Controle de áreas congestionadas

Áreas que já apresentam congestionamentos constantes e inevitáveis por outras intervenções de engenharia de tráfego como mudança na geometria ou prioridade na circulação.

h) Combinação de critérios

Para situações em que dois dos critérios de 1 a 5 forem observados em, no mínimo, 80% de ocorrência, ou 70% caso três critérios sejam observados.

i) Situações locais específicas

A experiência profissional de técnicos poderá justificar a instalação semaforica em situações especiais como, por exemplo, para locais em que a distância mínima de visibilidade não é mantida, gerando situação potencial de risco.

A literatura internacional aborda alguns critérios que já são utilizados no Brasil e servem como um guia para a análise da necessidade de instalação de semáforo. Embora já exposto, é válido lembrar que um semáforo nem sempre é a solução adequada para movimentos conflitantes.

Dentre outros critérios, deve ser citado também o de espaçamento entre semáforos. Segundo o Engineering Policy Guide (EPG, 2007), é necessário um espaçamento mínimo para que seja preservada a eficiência do fluxo de tráfego. Os valores podem ser vistos na Tabela 7.

Tabela 7 – Espaçamento mínimo para a instalação de semáforos.

<i>Classificação da Via</i>	<i>Área Urbana</i>
Freeway (Via de Trânsito Rápido)	Não permitido
Arterial	805 metros
Arterial Secundária	402 metros

Fonte: EPG (2007).

É fundamental salientar que o Código de Transito Brasileiro (CTB, 1997) prevê uma classificação diferente para os tipos de vias (Tabela 8), sendo abordado neste estudo de uma via arterial secundária.

Tabela 8 – Classificação das vias urbanas.

<i>Tipo de Via</i>	<i>Descrição</i>
Freeway	Caracterizada por acessos especiais com trânsito livre, sem interseção em nível e sem travessia de pedestres. Até 80 km/h.
Arterial	Caracterizada por interseções em nível, geralmente controladas por semáforo, possibilita o trânsito entre regiões da cidade. Até 60 km/h.
Coletora	Destinada a coletar e distribuir o trânsito que tenha necessidade de entrar ou sair das vias de trânsito rápido ou arteriais. Até 40 km/h.
Local	Configurada por interseções em nível não semaforizadas, destinada apenas ao acesso local ou a áreas restritas. Até 30 km/h.

Fonte: CTB (1997).

2.3.3 Operação

Segundo o Manual de Semáforos criado pelo DENATRAN em 1984, caso seja tomada a decisão de instalar um semáforo, um técnico deverá analisar as condições desejáveis de operação do cruzamento, com o objetivo de especificar os recursos que serão necessários para controlar o semáforo de acordo com as estratégias adotadas.

Conforme o manual, existem pelo menos três formas distintas que podem ser adotadas para a operação de um sistema semafórico de tempo fixo, considerando semáforos isolados ou então operando de forma coordenada entre si:

- a) Sistemas com planos de tráfego que variam segundo a hora do dia;
- b) Sistemas com variação segundo o tráfego;
- c) Sistema centralizado por computador.

Em muitos casos, o tráfego se comporta de maneira aproximadamente cíclica, tendo períodos de pico no início da manhã e final da tarde. Este trabalho visa a melhora do fluxo no período de pico sem o uso de controladores atuados pelo tráfego, caracterizando um sistema do item (a), sendo que, geralmente, o equipamento tem

uma capacidade de programar até 9 planos diferentes, tendo cada um seu próprio tempo de ciclo.

2.3.4 Dimensionamento pelo método de Webster

Dentre vários métodos para dimensionamento semafórico, o Manual de Semáforos de 1984 adota o Método de Webster por se tratar de um método completo e que permite a determinação dos tempos de verde e do comprimento do ciclo, causando menor atraso geral possível na interseção. Sendo assim, para determinar o tempo de ciclo ótimo, Webster (1966) propõe a seguinte equação:

$$c_o = \frac{(1,5*tp)+5}{1-\sum_{i=1}^n rfs_i} \quad (3)$$

Sendo:

c_o : Tempo de ciclo ótimo (segundos);

tp : Tempo perdido total por ciclo (segundos);

n : Número de fases;

rfs_i : Relação $\frac{\lambda_i}{s_i}$ para a aproximação crítica na fase i ;

λ_i : Fluxo da hora pico;

s_i : Fluxo de saturação.

Para cruzamentos com duas fases, o tempo total de verde efetivo é calculado por:

$$g = c_o - tp = \sum_{i=1}^n tp_i \quad (4)$$

Onde:

g : Tempo de verde efetivo total (segundos);

tp_i : Tempo perdido na fase i (segundos);

n : Número de fases.

O tempo perdido compreende o tempo em que a interseção não está sendo utilizada por nenhuma das aproximações e, matematicamente, é:

$$tp_i = t_{ev} - y + t_{sv} \quad (5)$$

Em que:

t_{ev} : Tempo entreverdes (segundos);

y : Tempo de amarelo (segundos);

t_{sv} : Tempo perdido na saída de veículos (segundos).

Sendo que o tempo entreverdes é calculado por:

$$t_{ev} = y + r_t \quad (6)$$

Onde:

y : Tempo de amarelo (segundos);

r_t : Tempo de vermelho total (segundos).

O tempo de vermelho total pode não ser utilizado ($r_t = 0$), então o tempo perdido na fase i é equivalente ao tempo perdido na saída dos veículos quando o sinal muda para verde. Por outro, se considerado, esse tempo é igual a 2 segundos.

Sabendo o tempo perdido na aproximação i (tp_i) e o tempo de ciclo ótimo (c_o), é possível calcular o tempo de verde efetivo para cada fase (g_i), como uma distribuição efetiva do tempo total (g).

$$g_i = \frac{rfs_i}{\sum_{i=1}^n rfs_i} \cdot g \quad (7)$$

Após todos os cálculos, o tempo de verde do semáforo para cada aproximação pode ser obtido por:

$$G_i = g_i - t_{ev} + tp_i \quad (8)$$

Onde:

G_i : Tempo de indicação verde na fase i (segundos);

É importante ainda salientar três considerações finais:

a) O tempo mínimo de qualquer indicação verde é de 15 segundos;

- b) O tempo de ciclo deve ser ajustado em múltiplos de 5 segundos quando c_o for menor que 90 segundos ou múltiplos de 10 segundos quando c_o é maior que 90 segundos.
- c) Todos os intervalos devem ser arredondados para serem múltiplos de 1 segundo.

2.3.5 Coordenação semafórica

A estratégia operacional da rede semafórica a ser utilizada é uma das principais questões que o engenheiro de tráfego ou o responsável pela implantação e gerenciamento do controle de tráfego deve atentar-se.

a) *Interseção isolada:*

São semáforos que operam sem interferências adjacentes. O controlador pode ser de tempo fixo, atuado ou adaptativo. Interseções afastadas em 500 metros do conjunto dos demais semáforos ou que apresentem características muito distintas das demais em geral recebem esse tratamento.

b) *Interseção em artéria ou corredor viário*

Tem como objetivo garantir e priorizar o acionamento progressivo para o fluxo de passagem ao longo da via, permitindo que os veículos se desloquem ao longo de uma rota, de forma a manter pelotões de veículos com continuidade de movimento entre as interseções adjacentes, reduzindo o número de interrupções da corrente de fluxo. Esse efeito é chamado de *onda verde*, ou seja, um veículo, viajando na velocidade programada consegue trafegar todo o trecho da sincronização e atingir as respectivas interseções semafóricas durante o tempo de verde. A diferença de tempo entre o início do tempo de verde de uma interseção para o início do tempo de verde da seguinte interseção é chamada de defasagem. A coordenação de semáforos pode ser feita em ambas as direções de tráfego (JUNIOR, 2007).

Segundo Gonçalves (2012), o cálculo da defasagem para o sincronismo de semáforos é dado pela divisão da distância entre os dois semáforos pela velocidade média dos veículos no local. Caso não haja dados sobre a velocidade média, considera-se o limite da via.

$$\text{Tempo de defasagem} = \frac{\text{distância entre semáforos}}{\text{velocidade média}} \quad (9)$$

Para a estratégia de operação coordenada, o tempo de ciclo ótimo é calculado para todas as interseções, o maior valor é selecionado como o ciclo comum a ser utilizado para a rede de semáforos que se deseja operar no modo de onda verde.

2.4 SUMO – SIMULATION OF URBAN MOBILITY

Segundo Macedo e Benta (2013), utilizando a microssimulação é possível criar modelos virtuais que representem o movimento individual dos veículos em uma rede de tráfego e construir cenários para avaliar o comportamento dos veículos no local quando são realizadas alterações na infraestrutura rodoviária.

Alguns autores podem ser citados dentre os que já utilizaram microssimuladores para análise de cenários do tráfego urbano. Dentre eles, Barceló et al. (2001) apresenta um estudo sobre a utilização de simulador na avaliação de potenciais impactos causados por estratégias de gestão de acidentes. Já Bonatti (2011) analisa os impactos que inundações causam ao trânsito com e sem medidas de mitigação destes impactos na cidade de Belo Horizonte, MG. Também é possível citar Furtado (2013), que faz uso da microssimulação em um estudo sobre o impacto de um veículo urbano de carga sobre a operação do tráfego em área urbana na cidade de Fortaleza, CE.

O SUMO é um software de código aberto desenvolvido em C++ para simulações de redes de tráfego microscópicas, multimodal, de espaço contínuo e tempo discreto. Sua implementação iniciou-se em 2001, sendo o German Aerospace Center (DLR – Institute of Transportation Systems) o principal desenvolvedor, com a primeira versão disponível em 2002. Justamente por ser de código aberto, o SUMO conta com uma grande comunidade ativa de usuários e, desde seu lançamento, continua sendo aprimorado. (BEHRISCH et. al., 2011).

Segundo a DLR – Institute of Transportation Systems, uma das principais aplicações do software é a avaliação da performance de semáforos, tendo sido utilizado na cidade de Colonia (Alemanha) para gerar uma previsão do trânsito durante a visita do Papa em 2005 e na copa de 2006. Além disso, possui três características que o tornam atraente:

- a) Pouco consumo de memória;
- b) Facilidade em estender a aplicação;
- c) Bom desempenho nas simulações.

2.4.1 Características e definições

O SUMO permite configurar completamente a rede de tráfego a ser estudada desde a velocidade dos carros até sincronia dos sinais e faixa exclusiva para ônibus.

Um dos diferenciais é a possibilidade de atribuir um valor para a habilidade de direção dos motoristas. Assim, o software assume que o condutor não é perfeito em manter a velocidade desejada., fazendo com que durante a simulação ocorra a criação de congestionamentos espontâneos e também um possível atraso na saída de semáforos, ambos comportamentos de motoristas reais.

Para melhor entendimento, é válido definir algumas das características do SUMO:

- a) *Simulação microscópica*: Este tipo de simulação permite aferir o tráfego veículo a veículo, com base no comportamento dos motoristas e das interações entre eles nos fluxos.
- b) *Car-following*: É um modelo de simulação microscópica em que a velocidade do veículo seguidor (following-car) depende do veículo líder (leading-car).
- c) *Tempo discreto*: Eventos na rede de tráfego em um instante dependem das condições de simulação previamente calculadas nos instantes anteriores.

Uma característica presente nos simuladores é o warm-up, que pode ser definido como o período de tempo entre o instante de início da simulação e o instante de início de coleta efetiva de dados para cálculo de uma medida de desempenho.

2.4.2 Criação da rede de tráfego

A rede de tráfego utilizada no software pode ser obtida de quatro formas. A primeira delas é importando modelos prontos de outros simuladores. A segunda

maneira é convertendo um arquivo com mapas vetoriais (.osm), gerado no Open Street Map, para um arquivo .net, que é o formato utilizado no SUMO. A terceira forma é utilizando o NETconvert e transformando os dois arquivos, um de nós (.nod) e outro de arestas (.edg), em um arquivo de rede .net. A quarta, considerada neste estudo, consiste em utilizar o software NETedit que permite criar manualmente a rede de tráfego e inserir todos os parâmetros, como tempos semafóricos, velocidade máxima de cada via, a direção que os carros podem seguir ao chegar em um cruzamento, faixas exclusivas para um determinado tipo de veículo, além de toda a parte visual que pode ser acompanhada durante a execução do SUMO.

2.4.3 Geração de fluxos e controladores de tráfego

No SUMO, a geração de fluxos pode ser feita de duas formas. A primeira, menos recomendada, é informar o instante de saída de cada veículo individualmente. Essa opção gera arquivos extensos e com grande probabilidade de erros. Já a segunda opção permite a criação de um intervalo fixo (veículos por hora) ou aleatório (probabilidade entre 0 e 1) de inserção de veículos.

Quando se trata de controladores de tráfego, como um semáforo de comportamento simples, o mesmo pode ser inserido no SUMO durante a criação do arquivo de rotas através da adição de mais uma característica, chamada *traffic_light*, no arquivo.

Porém, quando se deseja uma programação semafórica mais complexa ou uma regra de preferência entre vias pode-se fazer uso da ferramenta NETedit ou ainda o TraCI (Traffic Control Interface), a qual permite conexão com o Python onde a programação do semáforo se faz da maneira lógica desejada.

2.4.4 Dados de saída

Com base nas informações geradas por softwares de simulação, a Engenharia de Tráfego tem como um dos objetivos prever se uma alteração na rede viária trará reais benefícios para a zona de tráfego. As simulações realizadas pelo SUMO permitem a geração de relatórios completos, estabelecidos em tags no arquivo sumocfg, sendo as principais características listadas abaixo.

a) *Informação baseada no veículo*: Contém posições, velocidades, emissões e outras características de todos os veículos em todos os passos. A tag com todas essas informações é chamada de *full-output*, porém o arquivo gerado é extenso, podendo tornar a simulação consideravelmente lenta.

b) *Valores para vias ou faixas*: Medidas de desempenho na rede (*edgelane traffic*), emissão de poluição total da via/faixa (*edgelane emissions*), ruído gerados pelos veículos (*edgelane noise*), tempo e tamanho das filas (*queue-output*).

c) *Informação agregada ao veículo*: Informações de viagem agregada de cada veículo e suas rotas como pontos de parada (*vehicle routes information*), carregamento e descarregamento de cargas (*stop-output*) e uso de bateria em veículos elétricos (*battery usage*).

d) *Informações baseadas na rede de simulação*: Informações de cada instante sobre a quantidade de carros inseridas na simulação, tempo de espera para entrar na rede, tempo de viagem, quantidade de carros na simulação e veículos que chegaram ao seu destino final. Para essas informações é utilizada a tag *summary-output*.

e) *Relatórios de semáforos*: Informações sobre os estados dos semáforos (*traffic light states*), os ciclos de um semáforo específico responsável por uma determinada interseção (*stream-based traffic light switches*).

3 **METODOLOGIA**

Neste trabalho apresenta-se possíveis alternativas para a melhoria do tráfego na região compreendida entre a interseção da Av. JK com a rua 9 de Março e a interseção das ruas João Colin com a Princesa Isabel. Para a execução, foram realizadas as 6 etapas listadas a seguir.

Etapa 1 – Definições

Antes de iniciar qualquer fase prática do estudo, é essencial definir os dados a serem obtidos:

- a) Quantidade de carros, motos, caminhões e ônibus observados;
- b) Hora de pico;
- c) Tempos semaforicos;
- d) Tamanho médio de fila;
- e) Veículos equivalentes;
- f) Direção dos veículos;
- g) V_{15max} ;
- h) Fator hora pico (FHP);
- i) Veículos por hora (vph);
- j) Veículos hora pico (VHP)
- k) Tempo médio de viagem;
- l) Tempo médio de fila.

Com o propósito de trazer maior realidade para a simulação, percebe-se a importância de se realizar testes preliminares e definir também um tempo de warm-up para a rede de tráfego do estudo.

Antes de começar efetivamente a coleta dos dados, é necessário definir o procedimento a ser adotado, podendo ser in loco manualmente (grande possibilidade de erros) ou realizar uma filmagem do local e coletar as informações necessárias com a ajuda de softwares e com possibilidade de rever o vídeo caso haja dúvidas ou incoerências, sendo esta última a opção escolhida pelo autor.

Após a definição de como seria feita a coleta dos aspectos das interseções, é necessário conhecer a região para identificar informações como os horários de pico, a velocidade média dos carros e a distribuição de fluxo por hora. Tentou-se a obtenção de dados com os órgãos de trânsito da cidade, porém sem sucesso. Portanto, a primeira interseção foi escolhida para ser observada em um período de doze horas a fim de obter essas características.

Já para a coleta efetiva de dados, em função do tempo hábil para execução do estudo, definiu-se que duas horas de observação do tráfego eram suficientes para adquirir quantidade satisfatória de dados, tendo início da contagem pouco antes do período de pico. Preferencialmente, deve-se escolher um dia útil da semana fora das épocas festivas e que seja em período letivo.

Etapa 2 – Coleta e tratamento dos dados

Após se conhecer quais os horários de pico, é feita a contagem dos tempos semafóricos, do número de veículos e tamanho de fila para cada interseção com base nos vídeos feitos na etapa 1. Para melhor organizar os dados e viabilizar o dimensionamento semafórico utilizou-se o software Excel e planilhas do Google.

Etapa 3 – Dimensionamento semafórico

Feita as contagens semafóricas, devem ser efetuados os cálculos para definir as calibrações a serem aplicadas na simulação. Uma para o Método Webster e outra para a coordenação dos semáforos conhecida como *onda verde*.

Etapa 4 – Modelagem da simulação

Para criar o cenário da simulação, utilizou-se o software NETedit, disponível junto com a versão 0.29.0 do SUMO. Conforme o nome sugere, ele permite editar as

configurações do arquivo de rede (.net), sendo possível configurar a velocidade máxima, o comprimento, a prioridade e o número de faixas da via, além de definir faixas exclusivas para ônibus.

Após a configuração do arquivo “.net”, é necessário configurar o arquivo de rotas (.rou), sendo definido o fluxo de carros que se origina em cada via e a aceleração com que os carros iriam aumentar e diminuir suas velocidades.

Também é nesta etapa que é feita a configuração do arquivo “.cfg”, no qual são estabelecidos os dados de saída (output) da simulação.

Etapa 5 –Warm-up e execução

Nesta etapa, identifica-se o valor mais apropriado para o tempo de warm-up (período que a simulação demora até completar a rede de tráfego com veículos).

Depois de realizado esse processo, os cenários, incluindo o real atual, devem ser executados por um número de replicações estabelecido neste estudo com valor igual a 30. Esse valor de replicações foi superestimado a fim de trazer maior nível de confiança nos dados.

Etapa 6 – Comparação entre os resultados

Com a ajuda do Excel, os arquivos de dados de saída gerados pela execução do SUMO foram organizados para obtenção de valores médios de medidas de desempenho.

Com os dados devidamente separados e organizados, é viável comparar o desempenho entre o cenário atual e os dois propostos por esse estudo. A comparação foi realizada em termos do total de carros que chegam ao destino, tempo médio de viagem, tempo médio de espera, tamanho médio de fila e a velocidade média.

4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo apresenta-se o estudo de caso abordado e detalham-se todas as análises, contagens, considerações e cálculos necessário para sua realização.

4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

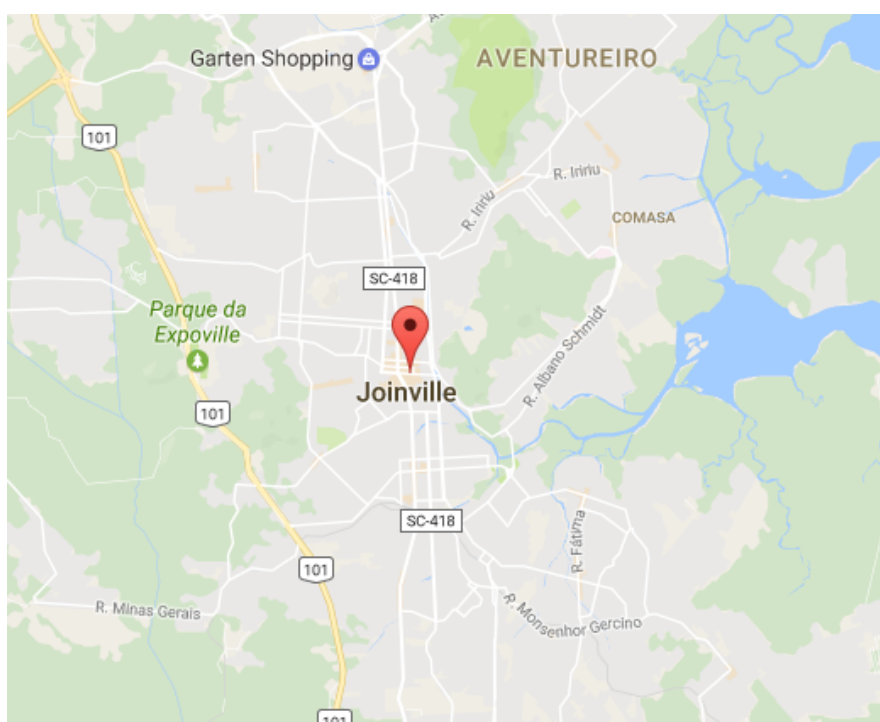
As três interseções que fazem parte do estudo de caso estão localizadas na região central da cidade de Joinville (Figura 5 e Figura 6), são:

Interseção 1 – Avenida Juscelino Kubitschek x Rua 9 de Março;

Interseção 2 – Rua João Colin x Rua XV de Novembro;

Interseção 3 – Rua João Colin x Rua Princesa Isabel.

Figura 5 – Localização das interseções analisadas.



Fonte: Google Maps (2017).

Essas três interseções foram escolhidas pois violam a recomendação de espaçamento mínimo entre semáforos encontrada no EPG citada no referencial teórico (Tabela 7).

Para melhor organização, a Av. JK e a rua João Colin serão sempre consideradas como a aproximação 1/estágio 1 e as demais ruas serão denominadas de aproximação 2/estágio 2.

Figura 6: Vista aérea da região de estudo.



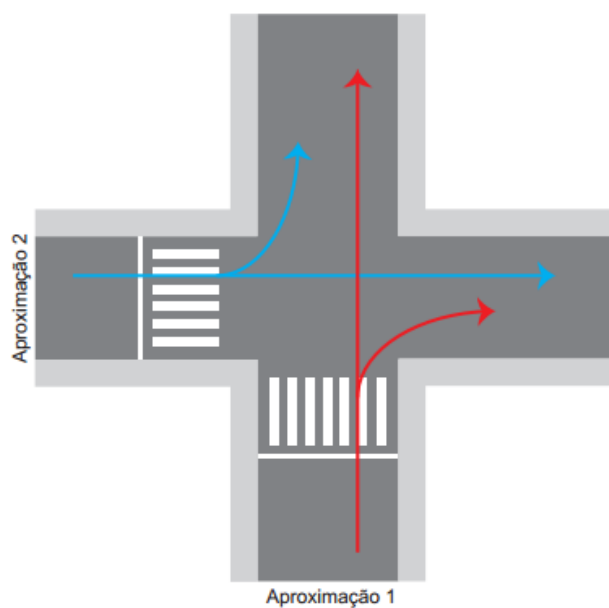
Fonte: Autor (2017).

Analisa-se seis cenários simulados, três no período da manhã e três no período da tarde, sendo um deles o real e duas propostas utilizando o método de Webster. A primeira proposta aplica o método para todas as três interseções, já na segunda, remove-se o semáforo existente na interseção intermediária e aplica-se Webster nas restantes.

4.1.1 Diagrama de movimentos e diagrama de fases

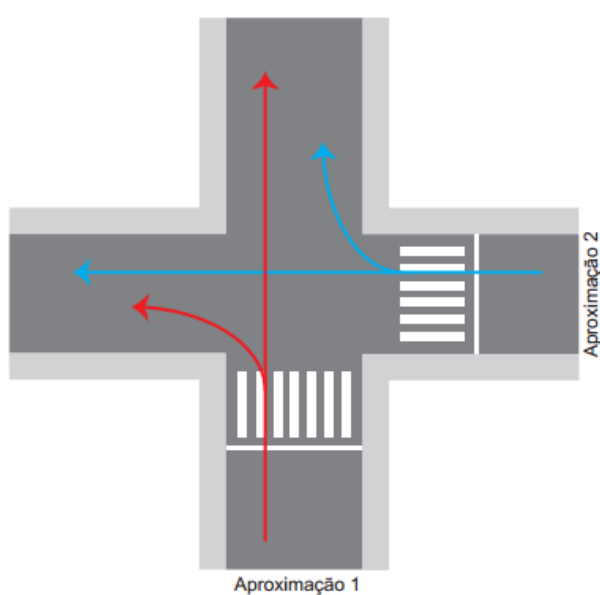
O diagrama de movimentos (Figura 7 e 8) permite visualizar as possíveis escolhas de movimentos que os motoristas têm ao chegar na interseção.

Figura 7 – Diagrama de movimentos para as interseções 1 e 2 (idênticos em ambas).



Fonte: Autor (2017).

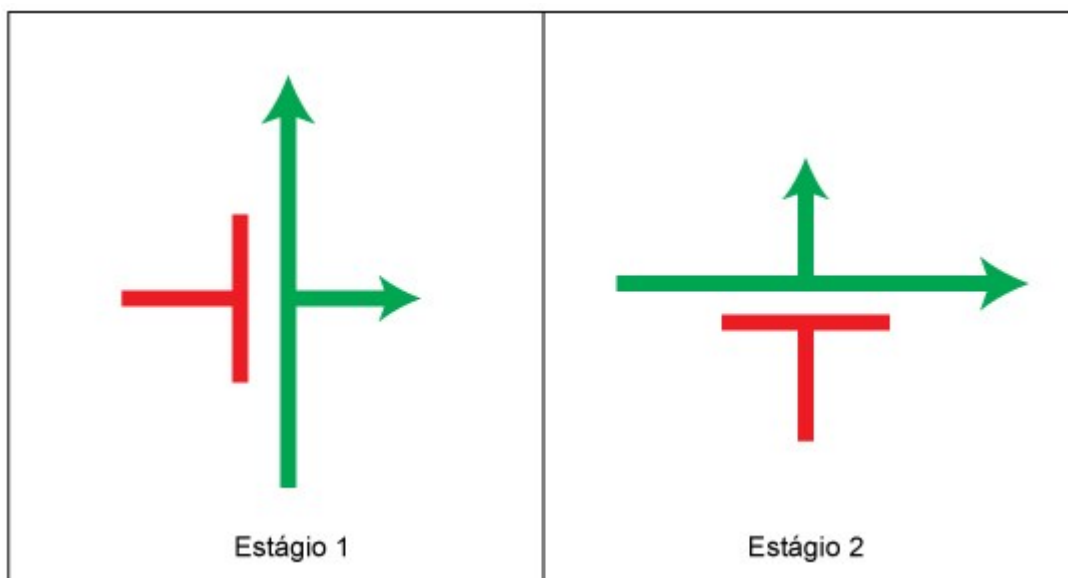
Figura 8 – Diagrama de movimentos para a interseção 3.



Fonte: Autor (2017).

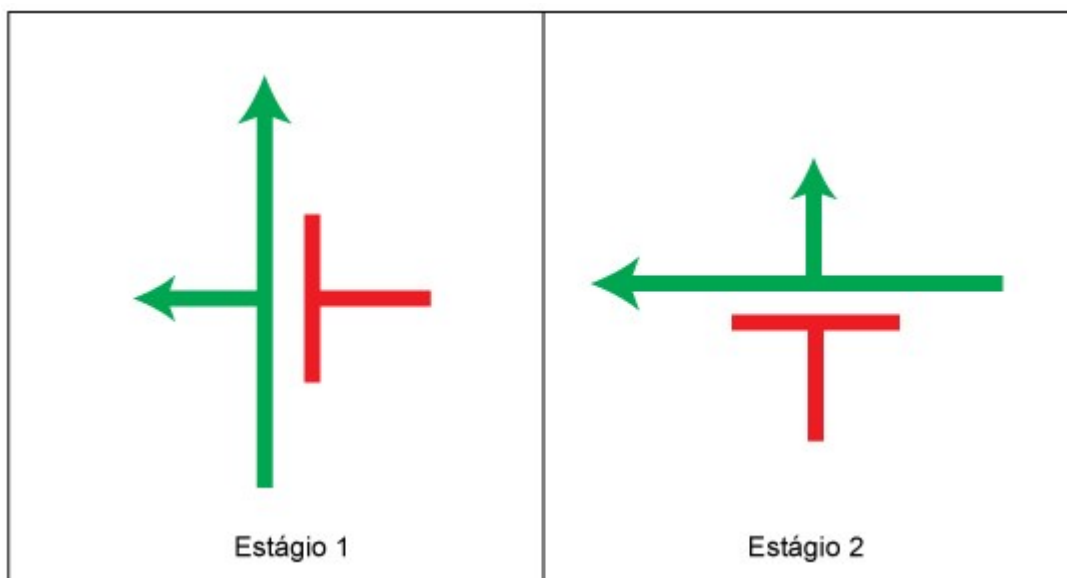
Já o diagrama de fases (Figura 9 e 10), mostra o comportamento das indicações luminosas dos semáforos nas interseções em cada fase.

Figura 9 – Diagrama de fases para as interseções 1 e 2 (idênticos em ambas).



Fonte: Autor (2017).

Figura 10 – Diagrama de fases para a interseção 3.



Fonte: Autor (2017).

É conveniente comentar que, embora convergir à direita na aproximação da Av. JK seja uma opção, ela foi desconsiderada na etapa de simulação pois sua influência era pequena para este estudo.

4.2 COLETA DE DADOS

Nesta seção será apresentada a coleta de dados através de vídeos, juntamente com a definição do horário de pico da região, fluxo de saturação, cálculo do tempo de verde, amarelo e vermelho dos cenários reais, contagem volumétrica classificatória e a transformação para veículos equivalentes.

Considerando que as contagens estão presentes em quase todas as etapas, é oportuno mostrar como foram elas realizadas (Figura 11).

Figura 11 – Planilha utilizada para a contagem dos veículos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1			período	15	30	45	60			
2				xxxxssssx	sxxxxxsx	1111571111111211sxxxxsxxxxxxxxxxxxsxxxxxxxxx1				
3	Fase1	1	Carro reto	88	103	111221224121117xxzxzxzxzxzxzxzxzxzxzxzxzxzxzxzx1				
4		2	Carro vira	54	52	24221122111111211axxsxxxxzxzxzxwxaaxxxxqxxxs				
5		4	Moto Reto	6	13	sxxzxzsxxzx11511122215222xxxxxsxxxxzxssxxsx				
6		5	Moto Vira	3	12	xxx711421211122512212szssszxxxxsxxzxzxzxwxxxs				
7		7	Onibus Reto	3	3	xxxxxxxxzx111222228122ssxxxxsxxzxszxxxxsxxsx				
8		8	Onibus Vira	6	4	xxsxzxzx				
9	Fase 2	x	Carro reto	255	253	130	0	638		
10		z	Carro vira	41	58	21	0	120		
11		s	Moto Reto	81	73	30	0	184		
12		a	Moto Vira	6	8	3	0	17		
13		w	Onibus Reto	3	9	3	0	15		
14		q	Onibus Vira	1	1	1	0	3		
15		t	ET'S	0	0	0	0			
16				547	589	282	0			
17										

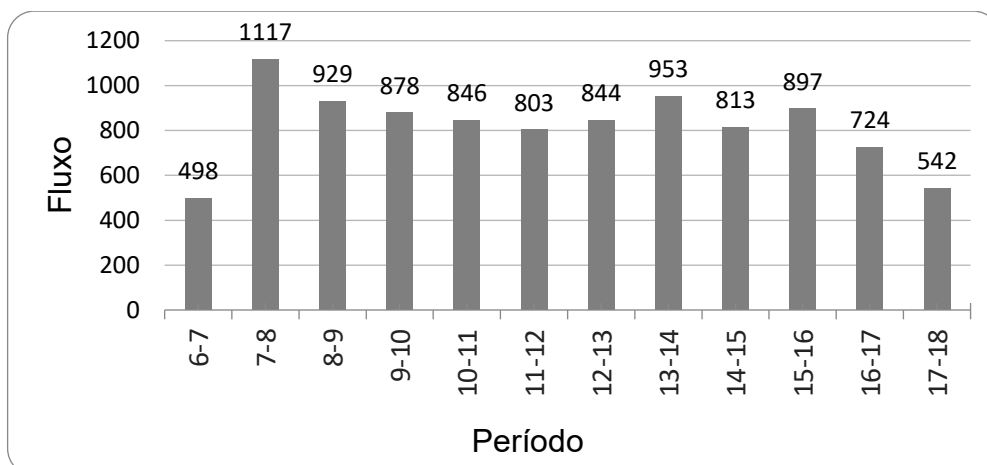
Fonte: Autor (2017).

Utilizou-se uma planilha do Excel com teclas pré-definidas dependendo do tipo de veículo que aparecia no vídeo e passava pela interseção. Dessa forma, foi possível minimizar o erro na obtenção decorrente das observações manuais.

4.2.1 Horário de pico

O primeiro passo para definir o período de análise é identificar os horários de pico da região. Após contagem de 12 horas do vídeo da câmera urbana Camerite (2017) localizada na esquina da Av. JK com a Rua 9 de março foram observados os valores apresentados na Figura 12.

Figura 12 – Fluxo de veículos em cada período de 1 hora.

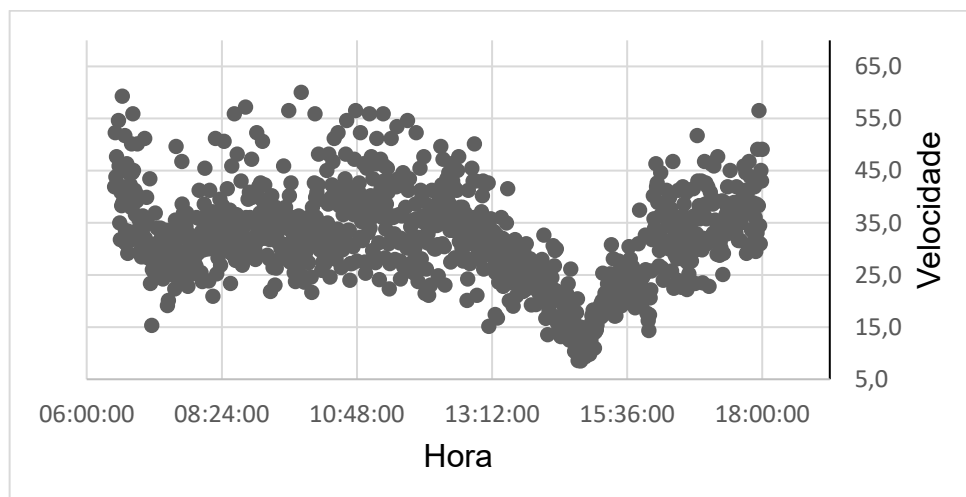


Fonte: Autor (2017).

Ainda que pareça visível que os horários de pico sejam no período da manhã entre 7h e 8h, e no período da tarde entre 13h e 14h, é preciso levar em consideração que, quando existe um tráfego carregado, a verificação apenas do fluxo pode levar a interpretações errôneas em decorrência da dificuldade de movimentação dos veículos. Portanto também é válido investigar a velocidade média por hora.

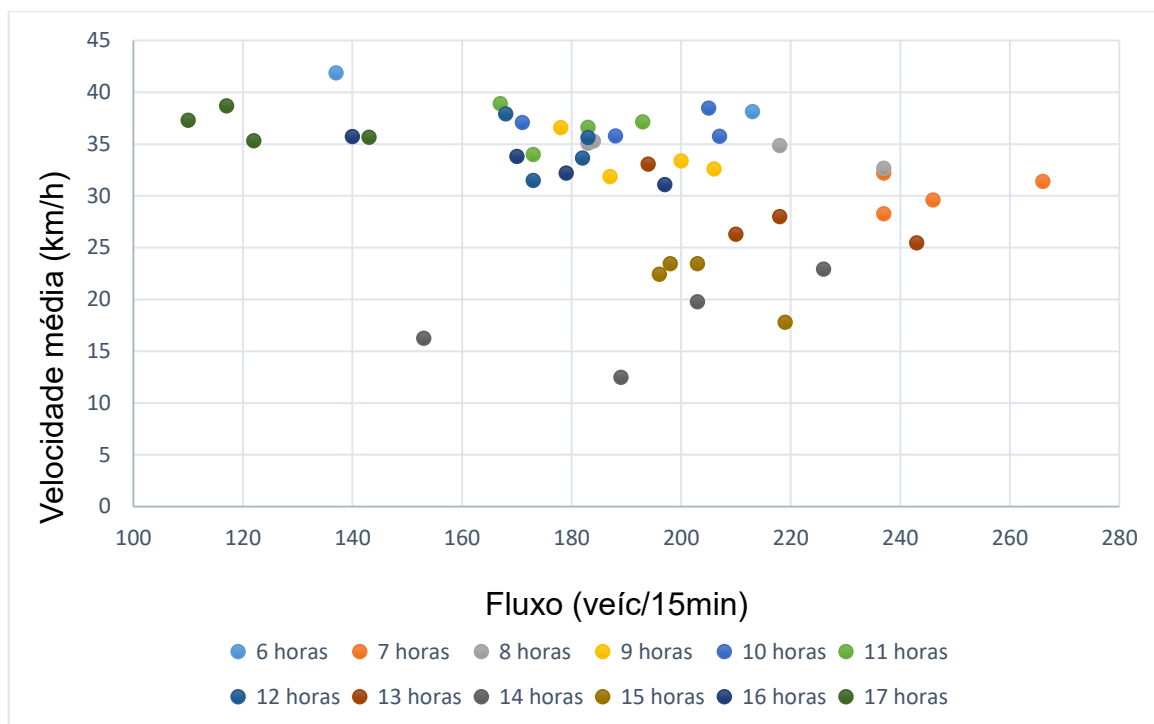
Para esta etapa, determinou-se dois pontos fixos com espaçamento de 25 metros no vídeo em que foi cronometrado o tempo gasto pelos veículos para percorrer do primeiro ao segundo ponto. Os resultados podem ser observados na Figura 13 e 14 respectivamente quanto à velocidade média de cada veículo no tempo e à relação entre o fluxo observado e a velocidade média a cada 15 minutos de observação.

Figura 13 – Velocidade média individual no período de 12 horas.



Fonte: Autor (2017).

Figura 14 – Relação entre o fluxo e a velocidade média em períodos de 15 minutos.



Fonte: Autor (2017).

Após essa observação foi possível concluir que o período da manhã entre 7h e 9h, além de ser a hora de pico, também é o horário de fluxo ótimo dos veículos (quando a via está operando próximo ao limite da capacidade).

Já para o período da tarde, observou-se que entre 13h e 15h a velocidade média era bastante prejudicada, indicando que este era o horário de pico por conta de estar operando acima da capacidade da via.

Contrariando o senso comum, esta região não é fortemente afetada pelo horário de pico das 18h. Uma possível análise disto pode ser compreendida ao verificar que o tráfego originado na zona Sul da cidade no período da manhã e que utiliza o início da Rua João Colin, é obrigado a escolher outra rota para voltar no final da tarde, pois está é uma via de mão única que faz o sentido centro-norte.

Portanto, com base nessa análise dos fluxos e das velocidades médias no período de 12 horas compreendido entre 6h e 18h, definiu-se que o período a ser utilizado nesse estudo seria entre 7h30min e 9h30min no período da manhã e entre 13h30min e 15h30min no período da tarde.

4.2.2 Fluxo de saturação

Para a definição do fluxo de saturação da região foi necessário medir a largura da via, sem considerar a faixa exclusiva para ônibus. Por ter sido encontrado o valor de 5,31m (Figura 15), o qual se encontra fora do intervalo previsto pela Tabela 1 (entre 3m e 5,2m) e da equação 2 (acima de 5,5m), optou-se por utilizar o coeficiente angular da reta entre as medidas de 5,2m e 5,5m para descobrir qual seria o fluxo de saturação para a medida encontrada de 5,31m.

Figura 15 – Largura da via nas aproximações.



Fonte: Google Maps (2017).

O valor encontrado utilizando o fator de interpolação foi de 2762,5 veic/htv. Aplicando-se o fator de correção de 0,85 para regiões centrais, chega-se no valor de 2348,5 veic/htv, o qual foi aproximado para 2350 veic/htv.

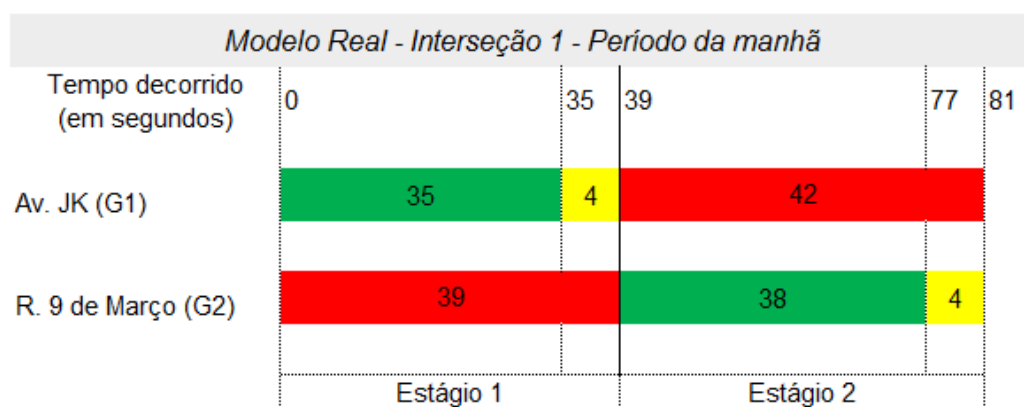
4.2.3 Tempos semafóricos do cenário real

Na contagem dos tempos semafóricos de cada fase da cada aproximação, utilizou-se o cronômetro integrado ao Windows 10, chamado de Alarmes e Relógio. Cada tempo de verde, amarelo e vermelho de cada fase foi registrado em uma planilha conforme o Apêndice B e calculado um tempo médio para cada cor de foco semafórico.

Na primeira aproximação da Av. JK o tempo de verde médio foi de 35 segundos, amarelo de 4 segundos e vermelho de 42 segundos. Para a segunda

aproximação os tempos médios foram de 38 segundos para verde, 4 segundos para amarelo e 39 segundos para vermelho. Conforme esperado, o ciclo total de ambas é igual, totalizando 1min21s. O resumo desses tempos pode ser observado na Figura 16.

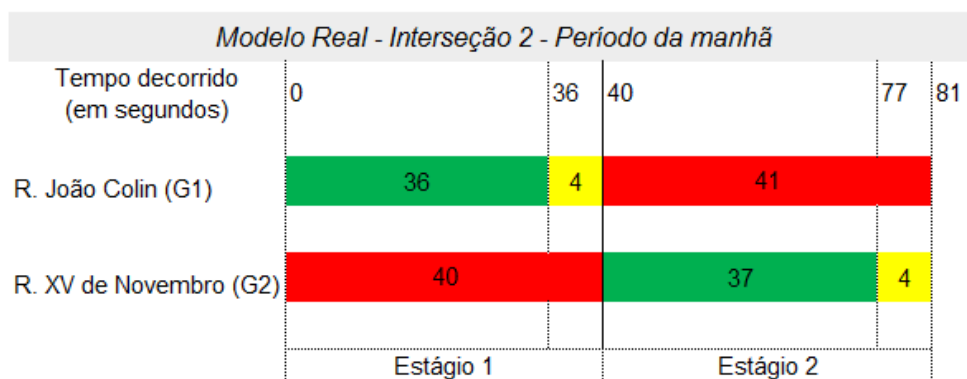
Figura 16 – Tempos semaforicos para a interseção da Av. JK com a Rua 9 de Março no período da manhã.



Fonte: Autor (2017).

Na segunda interseção (Figura 17), a aproximação da rua João Colin apresentou um tempo médio de 36 segundos para verde, 4 segundos para o amarelo e 41 segundos para o vermelho. Na segunda aproximação foi observado 37 segundos de tempo médio de verde, 4 segundos de amarelo e 40 segundos de vermelho. O total do ciclo foi de 1min21s.

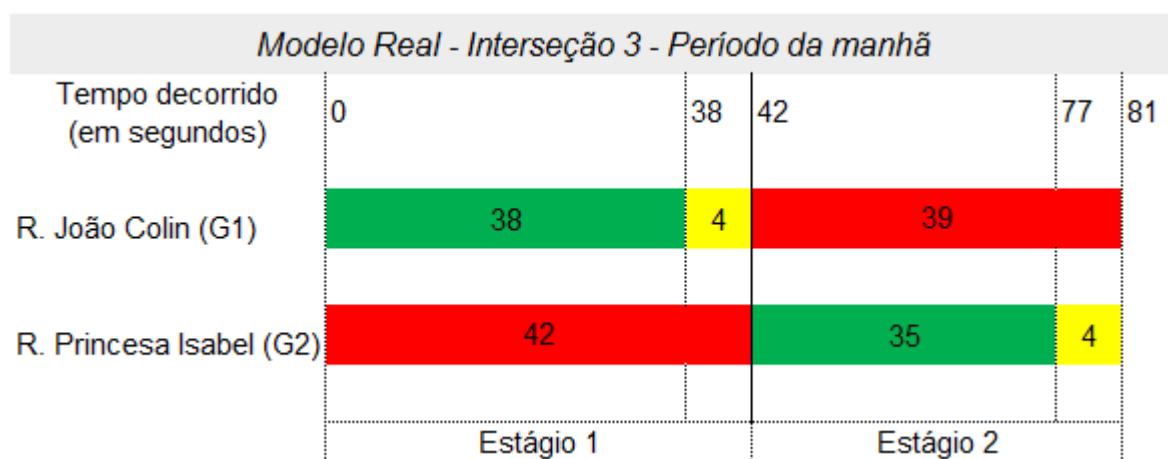
Figura 17 – Tempos semaforicos para a interseção das ruas João Colin e XV de Novembro no período da manhã.



Fonte: Autor (2017).

Na última interseção (Figura 18), a primeira aproximação apresentou um tempo médio de 38 segundos para o estágio verde, 4 segundos para o amarelo e 39 para o vermelho. Já na aproximação da rua Princesa Isabel 35 segundos para o verde, 4 segundos para o amarelo e 42 segundos para o vermelho. Também totalizou 1min21s para o tempo do ciclo.

Figura 18 – Tempos semafóricos para a interseção das ruas João Colin e Princesa Isabel no período da manhã.

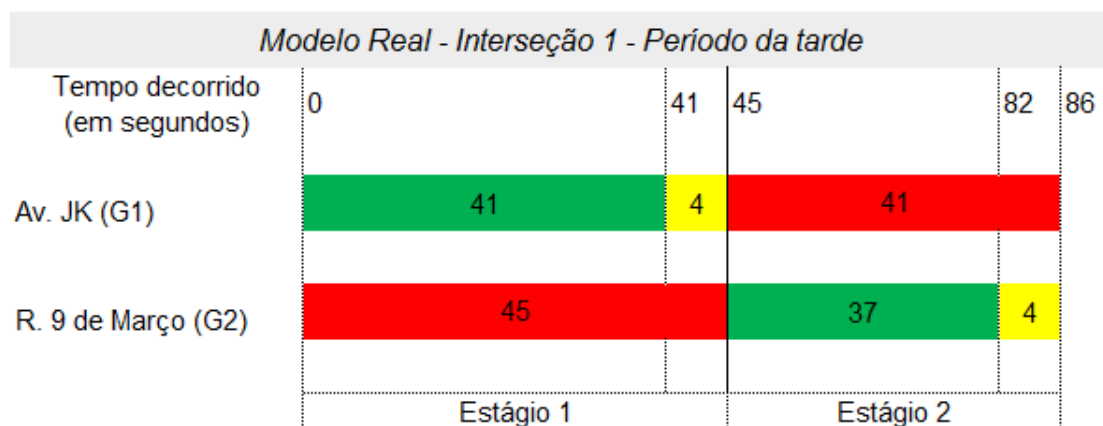


Fonte: Autor (2017).

É possível observar que o tempo de ciclo em todas as três interseções do estudo nesse período é de 1min21s, o que demonstra que existe alguma sincronia entre eles.

O procedimento também foi repetido para o período da tarde, no qual obteve-se na aproximação da Av. JK um tempo médio de 41 segundos para o verde, 4 segundos para o amarelo e 41 segundos para o vermelho. Na aproximação da rua 9 de março, foi verificado um tempo médio de 37 segundos para o verde, 4 segundos para o amarelo e 45 segundos para o vermelho, totalizando um ciclo de 1min26s. Esses dados estão replicados na Figura 19.

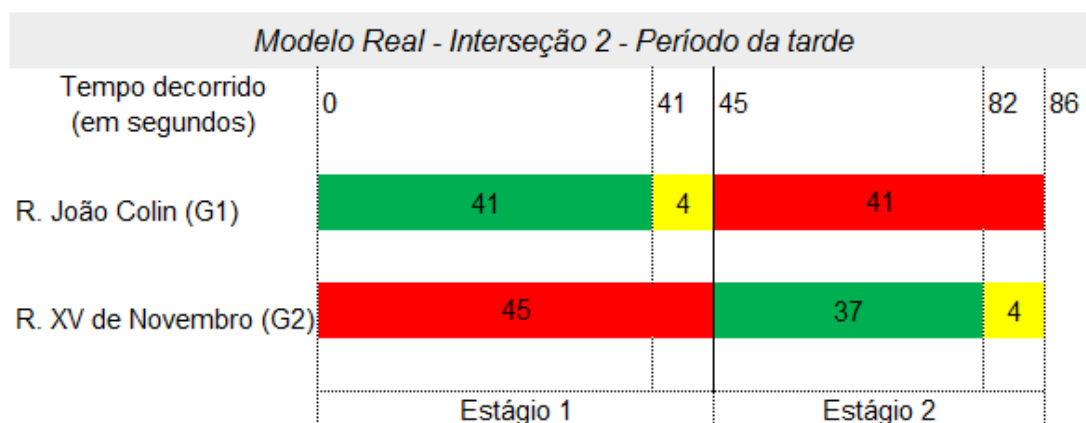
Figura 19 – Tempos semaforicos para a interseção da Av. JK com a Rua 9 de Março no período da tarde



Fonte: Autor (2017).

Na segunda interseção (Figura 20), a aproximação da rua João Colin apresentou um tempo médio de 41 segundos para verde, 4 segundos para o amarelo e 41 segundos para o vermelho. Na aproximação da rua XV de Novembro foi observado 37 segundos de tempo médio de verde, 4 segundos de amarelo e 45 segundos de vermelho. O total do ciclo foi de 1min26s.

Figura 20 – Tempos semaforicos para a interseção das ruas João Colin e XV de Novembro no período da tarde.

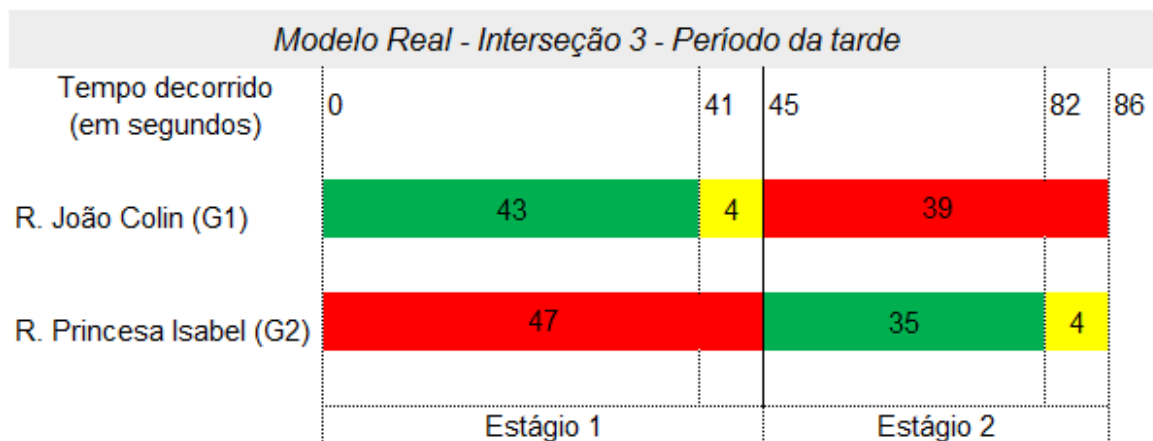


Fonte: Autor (2017).

Na última interseção (Figura 21), a primeira aproximação apresentou um tempo médio de 43 segundos para o estágio verde, 4 segundos para o amarelo e 39 para o vermelho. Já na aproximação da rua Princesa Isabel apresentou 35 segundos

para tempo médio de verde, 4 segundos para o amarelo e 47 segundos para o vermelho. Também totalizou 1min26secs para o tempo do ciclo.

Figura 21 – Tempos semafóricos para a interseção das ruas João Colin e Princesa Isabel no período da tarde.



Fonte: Autor (2017).

4.2.4 Contagem volumétrica e contagem volumétrica classificatória

Nesta etapa, foram contados os veículos em todas as interseções nos horários de pico verificados anteriormente. Para facilitar a organização e interpretação dos dados foram utilizadas planilhas conforme a apresentada na Figura 22.

Figura 22 – Planilha organizacional dos dados de contagem.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Aproximação 1 - João Colin														
Período		Motos	Reto	Direita	Carros	Reto	Direita	Ônibus	Reto	Direita	Caminhões	Reto	Direita	Total Equiv
07:30	07:45	69	66	3	228	203	25	3	3	0	1	1	0	260
07:45	08:00	83	77	6	255	237	18	3	3	0	0	0	0	289
08:00	08:15	67	60	7	303	276	27	4	4	0	2	1	1	338
08:15	08:30	43	35	8	272	243	29	1	1	0	2	1	1	293
	Total Equiv	87	79	8	1058	959	99	22	22	0	13	8	5	
Período		Motos	Reto	Direita	Carros	Reto	Direita	Ônibus	Reto	Direita	Caminhões	Reto	Direita	Total Equiv
08:30	08:45	47	41	6	231	207	24	3	3	0	2	2	0	258
08:45	09:00	47	46	1	247	225	22	5	5	0	2	2	0	278
09:00	09:15	39	33	6	215	189	26	1	1	0	1	1	0	233
09:15	09:30	47	43	4	217	196	21	4	4	0	3	3	0	248
	Total Equiv	60	54	6	910	817	93	26	26	0	20	20	0	
	Total	2196	100%											
	Total Reto	1985	90%		V15max	VHP	FHP	Poisson	Rfsi	% Reto	% Direita			
	Total Direita	211	10%		338	1098	0,81	1	0,47	42%	4%			
									SUMO	0,28	0,03			

Fonte: Autor (2017).

Ao sintetizar todos os valores de contagem, já tendo transformado as motos, ônibus e caminhões em veículos equivalentes, conforme os fatores de equivalência da Tabela 3, foram obtidos os valores apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Número de veículos equivalentes para todas as interseções.

<i>Rua/Direção</i>	<i>Manhã</i>		<i>Tarde</i>	
	<i>Seguir em frente</i>	<i>Converter à esquerda/direita</i>	<i>Seguir em frente</i>	<i>Converter à esquerda/direita</i>
JK	1848 (100%)		1690 (100%)	
9 de Março	846 (71%)	349 (29%) (e)	840 (67%)	418 (33%) (e)
João Colin	1985 (90%)	211 (10%) (d)	1941 (92%)	172 (8%) (d)
XV de Novembro	696 (52%)	646 (48%) (e)	785 (52%)	731 (48%) (e)
João Colin	2147 (85%)	391 (15%) (e)	2045 (86%)	343 (14%) (e)
Princesa Isabel	858 (60%)	569 (40%) (d)	807 (55%)	654 (45%) (d)

Fonte: Autor (2017).

De posse desses dados obteve-se os valores de V_{15max} VHP, FHP e r_{fsi} de cada aproximação em cada interseção para o período da manhã (Tabela 10) e para o período da tarde (Tabela 11).

Tabela 10 – Valores das variáveis de fluxo no período da manhã.

<i>Rua</i>	<i>Variáveis relativas ao fluxo</i>			
	V_{15max}	VHP	FHP	R_{fsi}
JK	285	924	0,81	0,39
9 de Março	184	597	0,81	0,25
João Colin	338	1098	0,81	0,47
XV de Novembro	199	671	0,84	0,29
João Colin	360	1269	0,88	0,54
Princesa Isabel	199	714	0,90	0,30

Fonte: Autor (2017).

É válido comentar que para os valores de VHP fez-se a média do fluxo total das duas horas, pois o período de análise foi apenas no horário de pico, portanto não

faria sentido utilizar apenas o VHP de uma das duas horas analisadas.

Tabela 11 – Valores das variáveis de fluxo no período da tarde.

<i>Rua</i>	<i>Variáveis relativas ao fluxo</i>			
	V_{15max}	<i>VHP</i>	<i>FHP</i>	R_{fsi}
JK	244	845	0,87	0,36
9 de Março	172	629	0,91	0,27
João Colin	298	1056	0,89	0,45
XV de Novembro	208	758	0,91	0,32
João Colin	320	1194	0,93	0,51
Princesa Isabel	197	730	0,93	0,31

Fonte: Autor (2017).

Com estes dados torna-se viável a realização das próximas etapas necessárias para o desenvolvimento deste estudo.

4.3 DIMENSIONAMENTO SEMAFÓRICO PELO MÉTODO DE WEBSTER

Para esta etapa foi necessário calcular os tempos semafóricos pelo método de Webster para os dois períodos de forma independente, visto que o tráfego da região não é o mesmo dependendo do horário. Em todos os cenários foi utilizado um tempo perdido de 2 segundos, tempo entre verdes de 4 segundos, duas faixas de tráfego (desconsiderou-se a faixa exclusiva para ônibus) e fluxo de saturação total de 2350 veic/htv (1175 veic/htv por faixa), valores que estão presentes na Tabela 12.

Tabela 12 – Valores utilizados para dimensionamento dos tempos semafóricos.

<i>Parâmetro</i>	<i>Valor</i>
Tempo perdido	2 segundos
Tempo entre verdes	4 segundos
Faixas	2
Fluxo de saturação total	2350 veic/htv

Fonte: Autor (2017).

Conforme visto anteriormente, em uma aplicação coordenada de semáforos, deve-se calcular o tempo de ciclo ótimo (Equação 3) para todas as interseções, devendo-se escolher o maior tempo para ser utilizado como ciclo comum entre elas. Os valores encontrados (em segundos) podem ser observados na Tabela 13.

Tabela 13 – Tempo do ciclo ótimo das interseções em cada período.

	<i>Manhã</i>	<i>Tarde</i>
Interseção 1	31 segundos	30 segundos
Interseção 2	44 segundos	48 segundos
Interseção 3	71 segundos	61 segundos

Fonte: Autor (2017).

Portanto, em ambos os períodos foi utilizado o ciclo ótimo encontrado na terceira interseção, o que já era esperado, pois, na medida que se avança na Rua João Colin maior é a concentração de veículos.

Dessa forma, após a aplicação das equações (4), (5), (6), (7) e (8), foram obtidos os valores de tempos semaforicos presentes na Tabela 14.

Tabela 14 – Tempos pelo método de Webster em cada período.

	<i>Manhã</i>	<i>Tarde</i>
Ciclo ótimo	71 segundos	61 segundos
Ciclo ótimo considerado	75 segundos	65 segundos
Tempo de verde total	71 segundos	61 segundos
Verde na aproximação 1	45 segundos	38 segundos
Verde efetivo da aproximação 1	43 segundos	36 segundos
Verde na aproximação 2	26 segundos	23 segundos
Verde efetivo na aproximação 2	24 segundos	21 segundos

Fonte: Autor (2017).

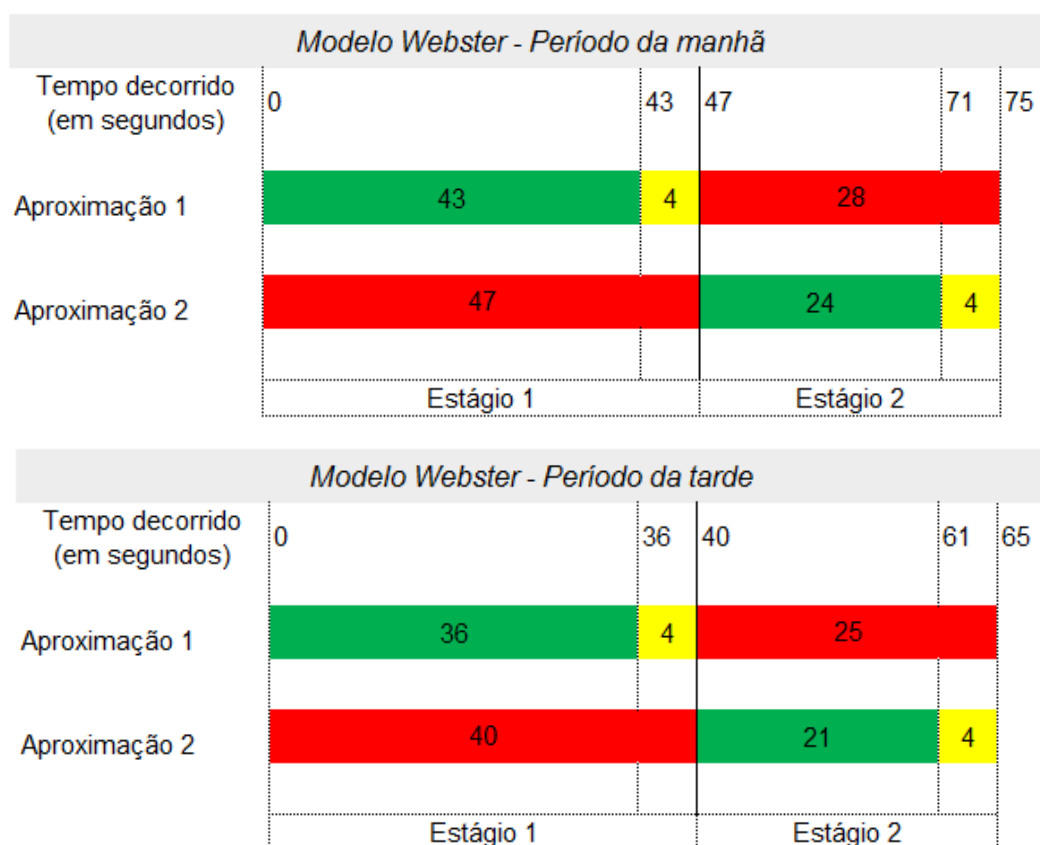
Para o tempo de defasagem entre os semáforos utilizou-se a segunda opção dada pela literatura, na qual é feita a divisão da distância entre as aproximações pela velocidade máxima da via. A razão dessa escolha se deu pela curta distância entre as interseções, apenas 100 metros, o que faz com que a fila de carros que não passou

no tempo de verde anterior precise ser dissipada antes do novo comboio chegar. Dessa forma, o tempo de defasagem considerando a velocidade máxima de 60km/h foi de 6 segundos ($100\text{m} \div 16,66\text{m/s}$).

4.3.1 Diagrama de tempo

O diagrama de tempo (Figura 23) permite a visualização dos tempos semafóricos nas aproximações. No período da manhã as aproximações localizadas na rua João Colin foram configuradas com 43 segundos para o verde, 4 segundos para o amarelo e 28 segundos para o vermelho. Já as aproximações perpendiculares, receberam 24 segundos para o verde, 4 segundos para o amarelo e 47 segundos para o vermelho.

Figura 23 – Diagrama de tempos para os semáforos pelo método de Webster.



Fonte: Autor (2017).

Já no período da tarde as aproximações localizadas na Rua João Colin foram configuradas com 36 segundos para o verde, 4 segundos para o amarelo e 25

segundos para o vermelho. Já as aproximações perpendiculares receberam 21 segundos para o verde, 4 segundos para o amarelo e 40 segundos para o vermelho.

4.4 SIMULAÇÃO MICROSCÓPICA

O SUMO funciona basicamente com a união de três tipos de arquivos. O de rede (.net), o de rotas (.rou) e o de configuração (.sumocfg).

Convém observar que todos os parâmetros, características e configurações utilizados nas duas propostas são idênticos, sendo a única alteração a retirada do semáforo da segunda interseção. Já em comparação com o cenário real, a única alteração foram os tempos semafóricos.

As velocidades máximas das ruas seguem o que ocorre na realidade, 60km/h na Rua Dr. João Colin que é uma arterial e 40km/h nas perpendiculares que são ruas coletoras.

4.4.1 Arquivo .net

Neste arquivo estão contidas informações, características e a geometria das vias. Ele pode ser gerado importando dados do OpenStreetMaps ou manualmente pelo NETedit, software que acompanha o SUMO.

Para este estudo escolheu-se fazer manualmente pois a região era relativamente pequena, conforme a rede criada para simular a região de estudo está disponível no Apêndice D.

Dentre as configurações feitas para cada período, vale ser citada a forma como foi simulado o tráfego da região no período da tarde. Para isso, foi adicionado 300 metros de rua com velocidade máxima de 7,75 km/h (valor empírico) onde seria a continuação de cada rota.

O valor de 300 metros de extensão foi escolhido pois, abaixo disso, os veículos terminavam a rota antes de gerar uma fila considerável. Já valores acima tornavam os resultados inconclusivos, pois o tempo perdido nessas regiões de tráfego era muito maior do que o deslocamento na área efetiva de estudo.

Em relação à escolha da velocidade do trânsito de 7,75 km/h considerou-se que valores abaixo desse criavam filas infinitas rapidamente e acima acabavam escoando o tráfego sem gerar filas.

Dentre outras configurações, estavam também a velocidade máxima e o número de faixas de cada via, para qual faixa o cada motorista deveria seguir ao chegar nem uma determinada aproximação e os tempos semafóricos.

4.4.2 Arquivo .rou

Antes de executar a simulação, também é necessário criar e configurar o arquivo de rotas. Nele são definidas as características dos carros do sistema, as rotas existentes e também a probabilidade com que os veículos são inseridos nas vias. Neste estudo, motos, ônibus e caminhões foram convertidos para carros de passeio, portanto apenas um modelo de veículo foi utilizado.

Para definir a probabilidade de inserção de veículos segundo uma distribuição exponencial negativa do headway entre veículos, faz-se a divisão do valor encontrado para o VHP (Tabela 10 e Tabela 11) pela quantidade de segundos em uma hora (3600 segundos) e, em seguida, multiplica-se pela probabilidade do veículo seguir em frente ou convergir à esquerda/direita (Tabela 9). Os valores encontrados estão disponíveis na Tabela 15.

Tabela 15 – Probabilidade de veículos em cada interseção.

<i>Rua</i>	<i>Manhã</i>		<i>Tarde</i>	
	<i>Seguir em Frente</i>	<i>Converter à esquerda/direita</i>	<i>Seguir em frente</i>	<i>Converter à esquerda/direita</i>
JK	26%	0%	23%	0%
9 de Março	12%	5% (e)	12%	6% (e)
João Colin	28%	3% (d)	27%	2% (d)
XV de Novembro	10%	9% (e)	11%	10% (e)
João Colin	30%	5% (e)	28%	5% (e)
Princesa Isabel	12%	8% (d)	11%	9% (d)

Fonte: Autor (2017).

É preciso considerar que os veículos que utilizam a Rua João Colin são originados na Av. JK, na Rua 9 de Março, na Rua XV de Novembro e na Rua Princesa

Isabel. Portanto, a probabilidade de geração de fluxos no arquivo de rotas ficou configurado no período da manhã conforme a Figura 24.

Figura 24 – Configuração do arquivo de rotas para o período da manhã.

```
<!--ROTAS JK, 26% reto-->
<flow type="carro" id="Carro1" begin="0" probability="0.02" route="route1" departLane="random"/> <!--JK -> João -> XV-->
<flow type="carro" id="Carro2" begin="0" probability="0.03" route="route2" departLane="random"/> <!--JK -> João -> Princesa
<flow type="carro" id="Carro3" begin="0" probability="0.21" route="route3" departLane="random"/> <!--JK -> João-->

<!--ROTAS 9 de MARÇO, 12% reto, 5% vira-->
<flow type="carro" id="Carro4" begin="0" probability="0.12" route="route4" departLane="random"/> <!--Continua na 9mar-->
<flow type="carro" id="Carro5" begin="0" probability="0.01" route="route5" departLane="random"/> <!--9mar -> João -> XV -->
<flow type="carro" id="Carro6" begin="0" probability="0.01" route="route6" departLane="random"/> <!--9mar -> João -> Princesa
<flow type="carro" id="Carro7" begin="0" probability="0.03" route="route7" departLane="random"/> <!--9mar -> João-->

<!--ROTAS XV DE NOVENBRO, 10% reto, 9% vira-->
<flow type="carro" id="Carro8" begin="0" probability="0.10" route="route8" departLane="random"/> <!--Continua na XV-->
<flow type="carro" id="Carro9" begin="0" probability="0.01" route="route9" departLane="random"/> <!--XV -> João -> Princesa-
<flow type="carro" id="Carro10" begin="0" probability="0.08" route="route10" departLane="random"/> <!--XV -> João-->

<!--ROTAS PRINCESA ISABEL, 12% reto, 8% vira-->
<flow type="carro" id="Carro11" begin="0" probability="0.12" route="route11" departLane="random"/> <!--Continua na Princesa-
<flow type="carro" id="Carro12" begin="0" probability="0.08" route="route12" departLane="random"/> <!--Princesa - João-->
```

Fonte: Autor (2017).

Não é possível simplesmente indicar a probabilidade de surgir um carro individualmente em cada interseção, pois conforme comentado acima, o fluxo é acumulado das interseções anteriores, dessa forma toda a geração do fluxo da rede ocorre no início de cada rua.

Para melhor explicar, será utilizado como exemplo as três rotas que são criadas a partir da Av. JK. Tomando como base as probabilidades da Tabela 15, no período da manhã existe 26% de chance de surgir um carro em um segundo nesta aproximação e os carros que nela surgem podem ter três destinos finais: Seguir em frente e convergir à direita na rua XV de Novembro, seguir em frente e entrar à esquerda na rua Princesa Isabel ou seguir sempre em frente e continuar na rua João Colin. Poucos carros realizam a primeira rota, portanto para ela foi atribuída uma probabilidade de 2%. A segunda rota também atende apenas a uma pequena parcela, sendo a ela atribuída 3%. Já a terceira rota, que é escolhida pela grande maioria dos veículos, foi atribuída a probabilidade de 21%. Realizando a soma das probabilidades de rotas que surgem na Av. JK (21% + 2% + 3%), chega-se nos 26% esperados para essa aproximação.

Ao se chegar na segunda interseção, as probabilidades da rua João Colin (28% seguem reto e 3% convergem à direita na XV de Novembro), devem ser

decorrentes da interseção anterior. Ao se verificar que 2% da Av. JK e 1% da rua 9 de Março realizam a rota que termina na rua XV de Novembro, confirmando os 3%.

A mesma lógica é seguida em todas as outras rotas, e a configuração completa do arquivo de rotas pode ser analisada no Apêndice E.

4.4.3 Arquivo .SUMOCFG

Com o arquivo de rede e de rotas prontos, foi criado o arquivo .sumocfg, em que é possível definir os arquivos de inserção de dados, o tempo total de execução, configurações de inserções aleatórias de veículos e também definir os arquivos de saída gerados.

Após testes, foi definido um tempo de warm up de 5 minutos (300 segundos) e portanto o simulador foi executado durante 7500 segundos com o objetivo de simular as duas horas de cada período.

Para os arquivos de saída, foi definido utilizar o *Summary* e o *Queue*. O primeiro resume parâmetros encontrados durante a execução e o segundo mostra como se comportaram as filas geradas pelo tráfego. Os critérios utilizados para a comparação de resultados entre os cenários estão sintetizados na Tabela 16.

Tabela 16 – Descrição dos parâmetros utilizados para análise dos resultados.

<i>Parâmetro</i>	<i>Descrição</i>
Ended	Quantidade de veículos que chegam ao destino final.
MeanWaitngTime (s)	Tempo médio de espera para entrar no sistema.
MeanTravelTime (s)	Tempo médio entre um veículos entrar na rede e terminar a viagem.
QueueLenght (m)	Tamanho médio de fila por faixa
QueueLenght<5km/h (m)	Tamanho médio de fila de carros andando a menos de 5km/h.
MeanSpeed (km/h)	Velocidade média com base no tempo médio de viagem e tamanho médio das rotas (550m).

Fonte: Adaptado de SumoWiki (2017).

Com estes parâmetros, é possível realizar uma comparação temporal e espacial da situação de cada proposta de cada cenário, informações que serão apresentadas na próxima seção.

4.5 ANÁLISE DE RESULTADOS

Após a execução de 30 iterações para cada cenário, os dados de saída de Summary e Queue foram agrupados e organizados em planilhas. As médias de todos os resultados para o período da manhã estão disponíveis na Tabela 17.

Tabela 17 – Resultados para o período da manhã.

<i>Parâmetro</i>	<i>Cenários - Período da manhã</i>		
	Real	Proposta 1	Proposta 2
Ended	6064	6101	6092
MeanWaitingTime	0	0	0
MeanTravelTime	73,81	75,78	69,01
QueueLength	16,71	17,27	16,26
QueueLength<5km/h	19,38	20,83	19,76
MeanSpeed	26,83	26,13	28,69

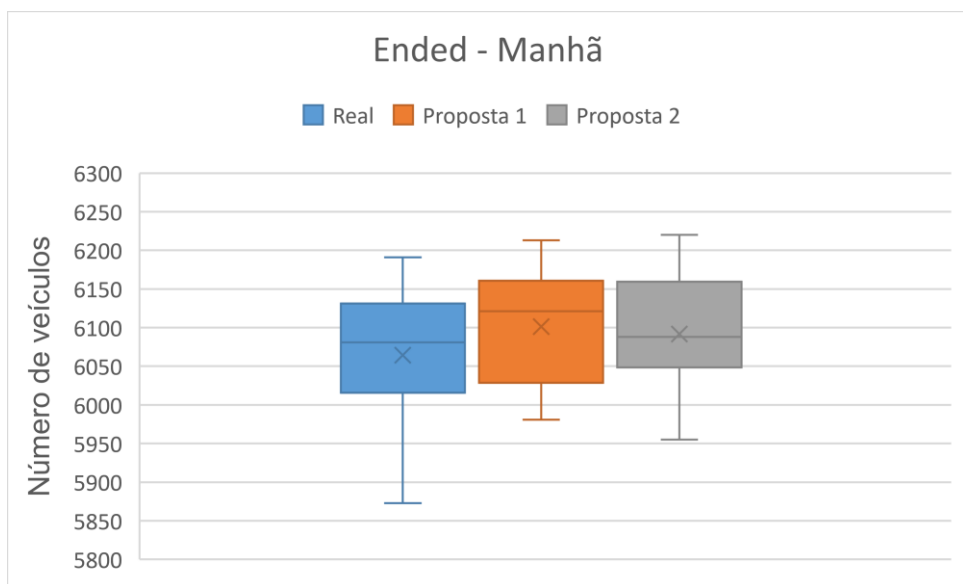
Fonte: Autor (2017).

No período da manhã, pode-se observar que não houve tempo de espera para entrar no sistema, fato que indica a não ocorrência de longas filas e trânsito parado, o que condiz com a realidade. Outro aspecto que se assemelha ao cenário real é o tempo médio de viagem de pouco mais de 1 minuto, tempo condizente com a situação na qual não se formam filas em um percurso médio de 550m com semáforos.

Em relação à velocidade média e tempo médio de viagem, nota-se uma ligeira melhora de 5% para a proposta em que se retira o semáforo da segunda interseção. Já o cenário em que se aplica apenas o método de Webster houve piora em todos os parâmetros, exceto a quantidade de carros que terminaram a rota, na qual houve uma melhora pouco significativa de 1%.

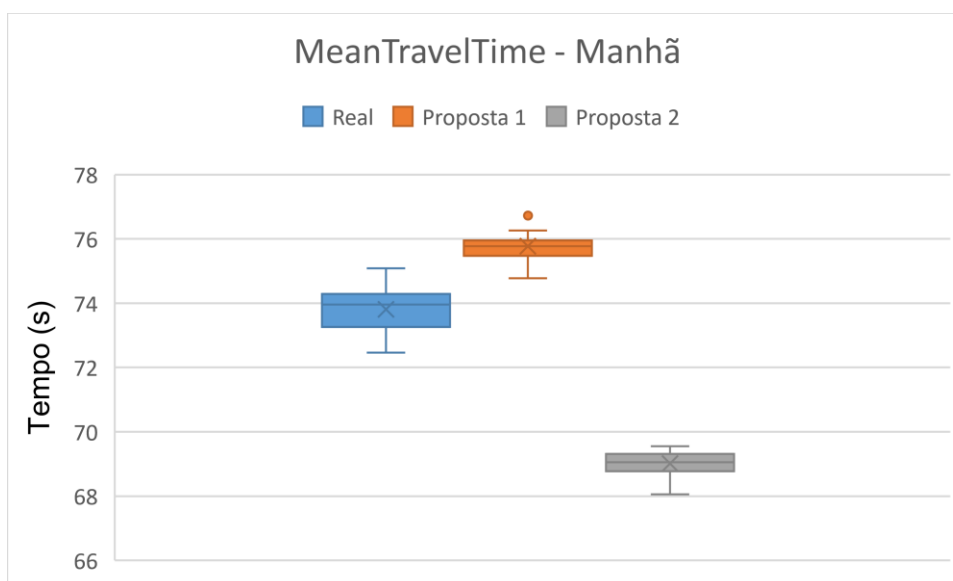
Também foi realizado o box plot de cada parâmetro no período da manhã (Figura 25, 26, 27, 28 e 29) que permitiu ter uma melhor visualização do comportamento de cada cenário simulado.

Figura 25 – Box plot do parâmetro Ended no período da manhã.



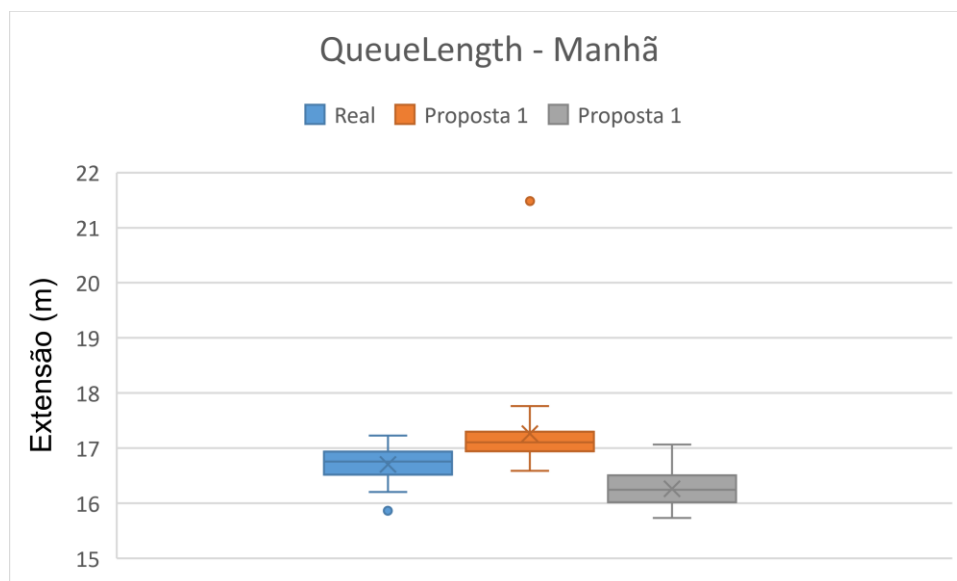
Fonte: Autor (2017).

Figura 26 – Box plot do parâmetro MeanTravelTime no período da manhã.



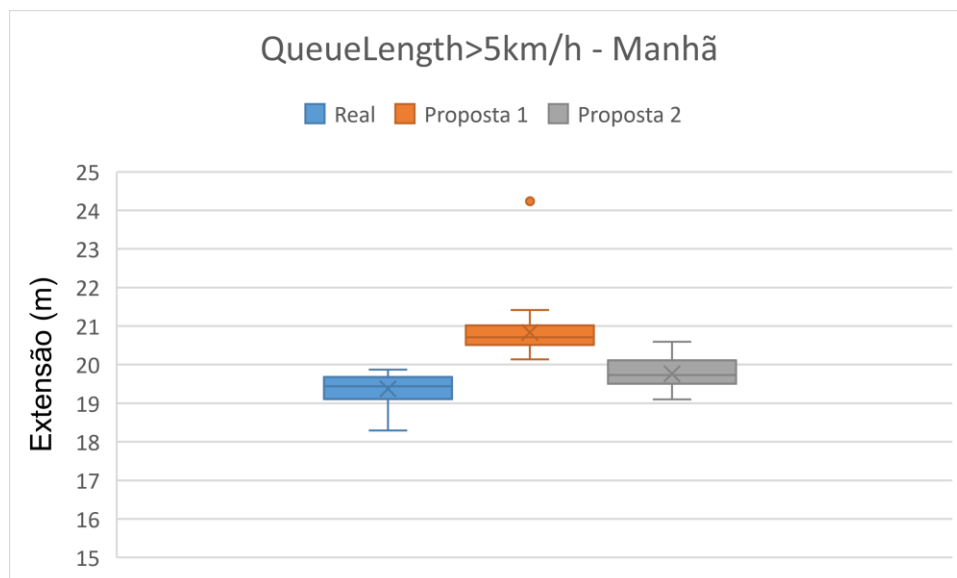
Fonte: Autor (2017).

Figura 27 – Box plot do parâmetro QueueLength no período da manhã.



Fonte: Autor (2017).

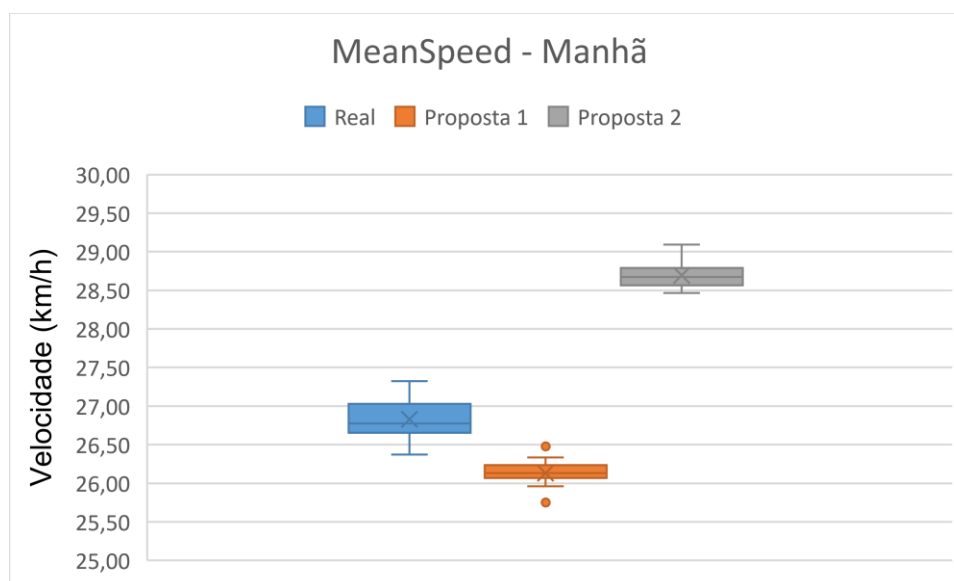
Figura 28 – Box plot do parâmetro QueueLength>5km/h no período da manhã.



Fonte: Autor (2017).

Na Figura 27 e 28, é possível observar que a Proposta 1 apresentou de uma iteração com *outlier* significativo. Esta também é uma das vantagens de se trabalhar com box plot, pois além de indicar a existência de simetria ou assimetria dos dados, a mediana e a tendência, também é possível verificar a existência dos *outliers* (pontos muito fora do padrão de resultados).

Figura 29 – Box plot do parâmetro MeanSpeed no período da manhã.



Fonte: Autor (2017)

A análise de cada box plot confirma que os dados apresentam pouco desvio entre os resultados e, além disso, indicam que a Proposta 2 trouxe melhoria.

Já para o período da tarde, as médias de todos os estão disponíveis na Tabela 17 e para o período da tarde na Tabela 18.

Tabela 18 – Resultados para o período da tarde.

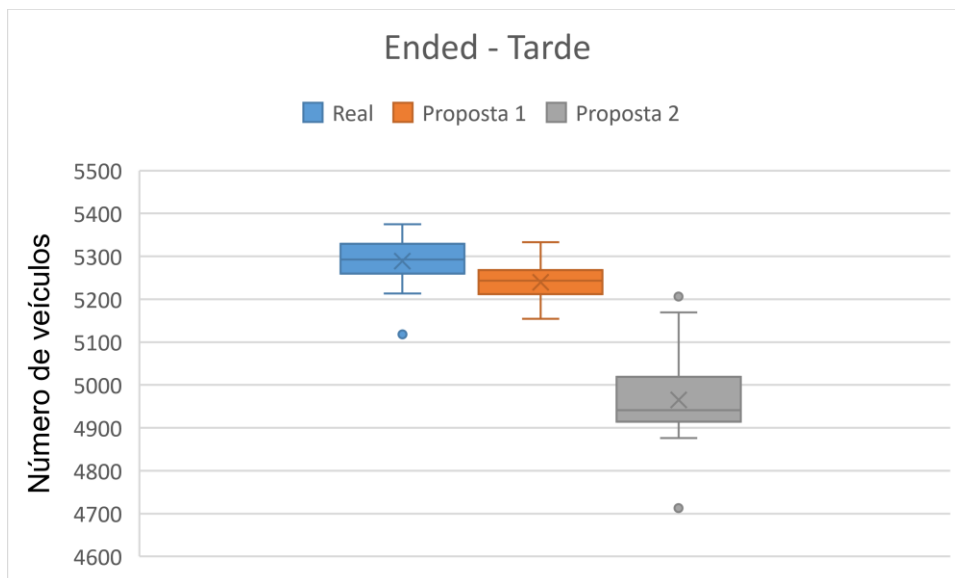
Parâmetro	Cenários - Período da tarde		
	Real	Proposta 1	Proposta 2
Ended	5289	5239	4965
MeanWaitingTime	75,48	88,36	72,51
MeanTravelTime	338,59	354,04	329,03
QueueLength	34,16	38,43	28,69
QueueLength<5km/h	98,25	98,89	95,28
MeanSpeed	5,85	5,59	6,02

Fonte: Autor (2017).

No período da tarde, quando a região sofre grande influência do tráfego da rede, percebe-se que o tempo de viagem médio aumenta para aproximadamente 5min30seg no cenário real e na proposta em que se retira o semáforo. Já na que utiliza apenas o método de Webster o tempo médio de viagem chega a quase 6 minutos.

Para o período da tarde também foi realizado o box plot de cada parâmetro e podem ser observados na Figura 30, 31, 32, 33, 34 e 35.

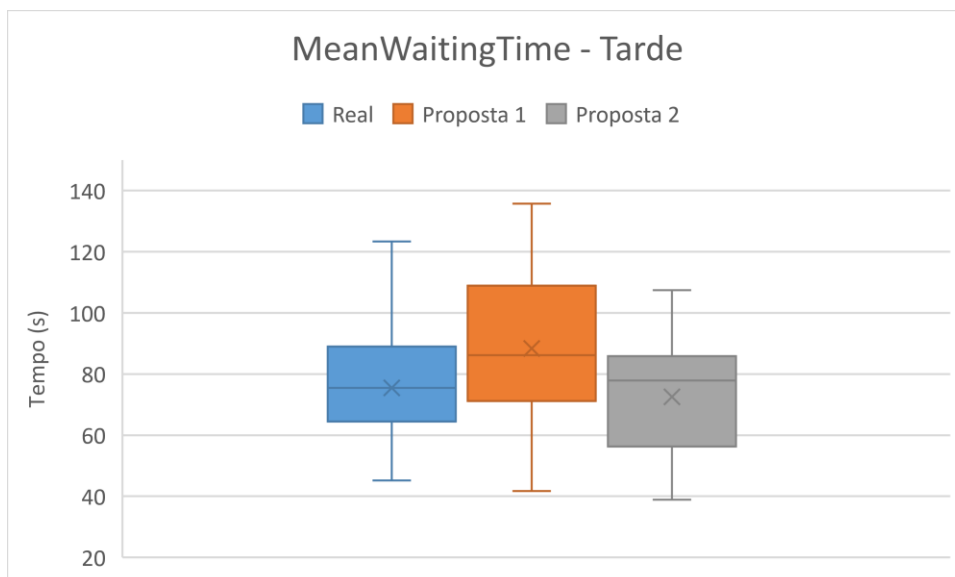
Figura 30 – Box plot do parâmetro Ended no período da tarde.



Fonte: Autor (2017).

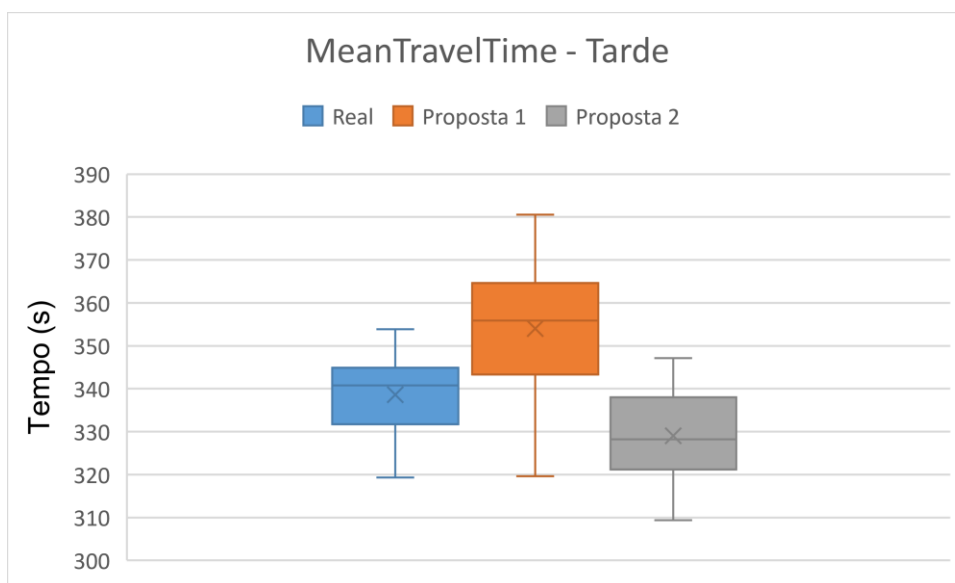
Ao analisar o box plot da Figura 30, percebe-se que a Proposta 2 apresentou uma variação mais abrangente de resultados, já a Proposta 1 trouxe resultados que sugerem a existência de um padrão na configuração.

Figura 31 – Box plot do parâmetro MeanWaitingTime no período da tarde.



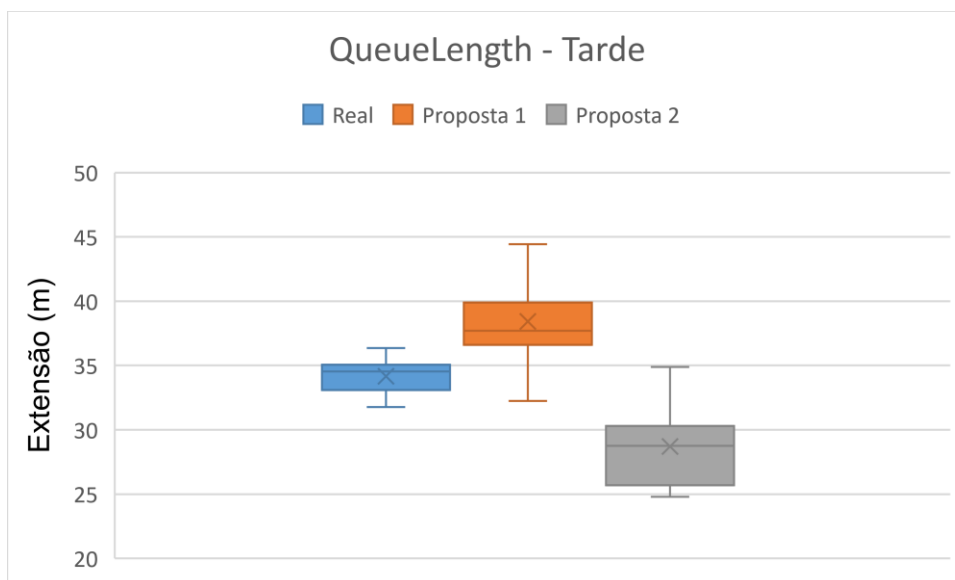
Fonte: Autor (2017).

Figura 32 – Box plot do parâmetro MeanTravelTime no período da tarde.



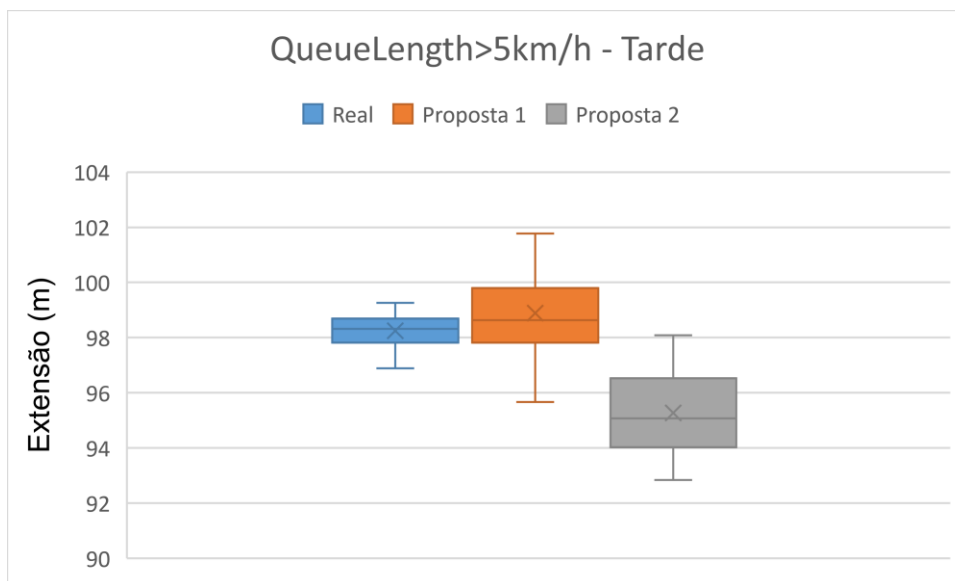
Fonte: Autor (2017).

Figura 33 – Box plot do parâmetro QueueLength no período da tarde.



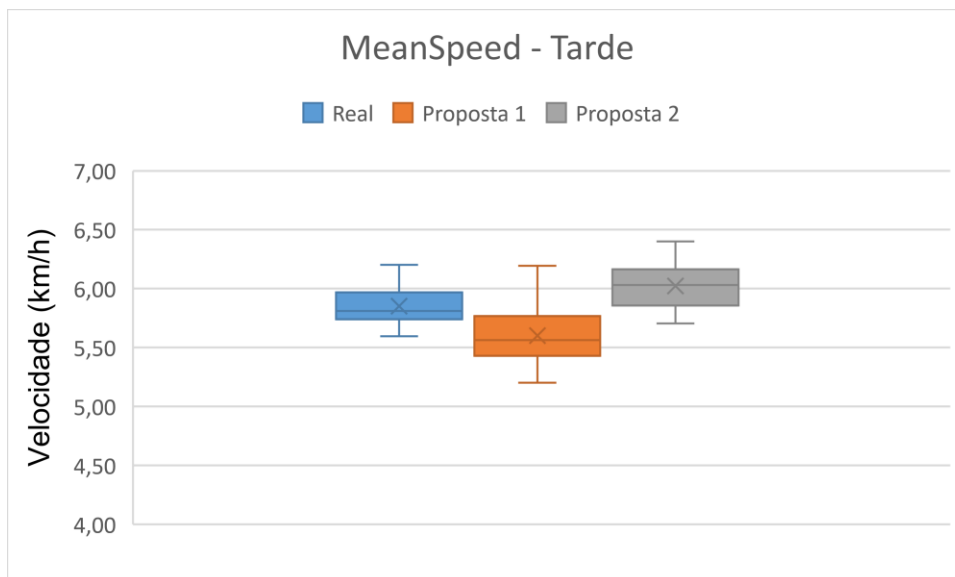
Fonte: Autor (2017).

Figura 34 – Box plot do parâmetro QueueLength>5km/h no período da tarde.



Fonte: Autor (2017).

Figura 35 – Box plot do parâmetro MeanSpeed no período da tarde.



Fonte: Autor (2017).

Após a observação de cada box plot, no período da tarde a Proposta 2 manteve a tendência de apresentar melhores resultados.

Comparando-se os cenários, percebe-se que a proposta de aplicar Webster sem o segundo semáforo conseguiu uma melhora de até 17% no tamanho médio das

filas e de 3% na velocidade média, porém uma piora de 6% no total de carros atendidos. Isso se deve principalmente pelo motivo de que os automóveis que circularam na rua Dr. João Colin ganharam fluidez ao se retirar um semáforo, porém os que utilizam a rua XV de Novembro acabaram sendo prejudicados por filas maiores visto que necessitam esperar uma brecha para cruzar a rua João Colin.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como principal objetivo analisar duas propostas para a melhoria do tráfego de uma região central da cidade de Joinville através de simulações com o software SUMO. Para atingir tal objetivo, foi necessário um extenso estudo que envolveu conhecimentos das áreas de Engenharia de Tráfego, simulação de tráfego, e sistemas de monitoramento.

Após a coleta e organização de todos os aspectos necessários para criar a base de dados do cenário real, pôde-se criar os dois ambientes propostos no software de simulação e comparar os dados de saída.

Embora a proposta em que se retira o semáforo da segunda interseção tenha gerado alguns resultados positivos, observou-se que nos períodos da manhã, como não há trânsito pesado na rede, as mudanças são pouco significativas, tendo maior importância a sincronização semafórica do que o tempo em que efetivamente operam.

Já nos períodos da tarde, como há trânsito demasiadamente pesado na rede de tráfego, qualquer melhora local acaba não ficando evidente por conta do tráfego fora da área de estudo.

Em relação à necessidade da existência do semáforo do segundo cruzamento, os critérios de implantação são realmente satisfeitos visto que há tráfego considerável de veículos e pessoas na região. Porém, um dos focos deste estudo era averiguar se a remoção deste semáforo poderia trazer benefícios ao tráfego, fato que foi confirmado pelos resultados averiguados.

Pode-se dizer que a principal contribuição do trabalho está no desenvolvimento de um estudo para melhoria do tráfego urbano central da cidade de Joinville, que atualmente é prejudicada pela falta de fluidez e sincronia da rede.

5.1 RECOMENDAÇÕES A ESTUDOS FUTUROS

Como recomendações a trabalhos futuros, primeiramente seria importante estender a região de pesquisa até a interseção das ruas Max Colin com a João Colin. Também seria de grande valia incluir a contagem dos pedestres na região que, por ser comercial e próxima ao terminal, conta com grande circulação de pessoas. Pode-se ainda averiguar a possibilidade de implantar na simulação, semáforos que permitam a solicitação de travessia por pedestres, situação que foi desconsiderada neste trabalho. Além dessas sugestões, um remanejamento do fluxo de veículos para que se diminuam as situações em que um motorista precisa cruzar a via arterial pode trazer benefício aos resultados.

REFERÊNCIAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Engenharia de tráfego: Terminologia** – NBR 7032. Rio de Janeiro, ABNT, 1983.

BARCELÓ, Jaume et. al. **Assessment of incident management strategies using aimsun**. 8th World Congress on Intelligent Transport Systems. Sydney, 2001.

BEHRISCH, Michael et. al. **SUMO – Simulation of urban mobility: an overview**. Berlin: Institute of Transportation Systems, 2011.

BONATTI, Rodrigo Amaral. **Desenvolvimento de modelo para a gestão de sistemas de trânsito em situações de contingência de inundações**. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

CAMERITE. **Câmera urbana da Avenida Juscelino Kubitschek nº40**. Disponível em: < <https://camerite.com/cameras/46721/joinville/santa-catarina/avenida-juscelino-kubitschek-40> > Acesso em 26 mar. 2017.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Manual brasileiro de sinalização de trânsito volume I: Sinalização Vertical de Regulamentação**, Brasília: CONTRAN 2007.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Manual brasileiro de sinalização de trânsito volume V: Sinalização Semafórica**, Brasília: CONTRAN, 2007.

CÓDIGO DE TRÂNSITO BRASILEIRO. Brasília: Casa Civil, 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9503Compilado.htm>. Acesso em: 02 nov. 2016.

CURTISS, Aaron. Shedding light on history of traffic signals. **Los Angeles Times**, 03 abr. 1995. Disponível em: <http://articles.latimes.com/1995-04-03/local/me-50360_1_traffic-light>. Acesso em: 01 nov. 2016.

DANTAS, Jannice. Onda verde auxilia na fluidez do trânsito. **DETRAN Acre**, 21 mar. 2013. Disponível em: <http://detran.ac.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=715:onda-verde-auxilia-na-fluidez-do-transito-&catid=11:noticias&Itemid=86>. Acessado em: 16 nov. 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES.
Manual de projetos de interseções. Rio de Janeiro: DNIT, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES.
Manual de estudos de tráfego. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Manual de Semáforos.** 2. ed.
Brasília: DENATRAN, 1984.

DLR – Institute of Transportation Systems. **SUMO – Simulation of urban mobility.**
Disponível em: < http://www.dlr.de/ts/en/desktopdefault.aspx/tabid-9883/16931_read-41000/>. Acesso em: 28 jun. 2017.

DOMINGUES JUNIOR, Milton. **Técnica MDJ para avaliação de conflitos de tráfego em Interseções no Brasil.** 2001, 116 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2001.

DUTRA, Cristiane Biazzone. **Avaliação da eficiência de métodos de coordenação semafórica em vias arteriais.** 2005, 189 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2005.

ENGINEERING POLICY GUIDE. **Acess management:** Traffic Signal Spacing.
Disponível em: <http://epg.modot.org/index.php?title=940.6_Traffic_Signal_Spacing>
Acesso em: 27 set. 2016.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **Manual on uniform traffic control devices:** For Streets and Highways. 2009 Edition. Washington, DC. Disponível em: <<http://mutcd.fhwa.dot.gov/pdfs/2009r1r2/mutcd2009r1r2edition.pdf>> Acesso em: 18 out. 2016.

FURTADO, Hermania Saskia de Olivera. **Uso da microsimulação na análise do impacto de um veículo urbano de carga sobre a operação do tráfego em área urbana.** 2013, 84p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2013.

GARCIA-CASTRO, Alvaro; MONZON, Andres. **Measuring the effects of traffic congestion on fuel consumption.** Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2014.

GONÇALVES, Aldir. **Manual de conformidade em rede semafórica**. Espírito Santo, 2012.

INSTITUTE OF TRANSPORTATION SYSTEMS. **SUMO – simulation of urban mobility**. Berlin: DLR, 2016. Disponível em: http://www.dlr.de/ts/en/desktopdefault.aspx/tabid-9883/16931_read-41000/>. Acesso em: 15 nov. 2016.

JUNIOR, Anibal Durães de Almenida. **Método de coordenação semafórica para corredores de transporte coletivo**. 2007, 217p. Dissertação (Doutorado) – Programa de Pós Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2007.

MACEDO, Joaquim; BENTA, Agostinho. **Seleção da tipologia de uma intersecção utilizando um simulador microscópico de tráfego – um estudo de caso**. Aveiro: Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil. Portugal, 2013.

MAXEINER, Tim. Let there be lights. **Smart Magazine**, 15 jun. 2015. Disponível em: <http://www.smart-magazine.com/en/history-traffic-lights/>>. Acesso em: 26 out. 2016.

MCKONE, Jonna. “Naked Streets” without traffic lights improve flow and safety. **The City Fix**, 18 out. 2010. Disponível em: < <http://thecityfix.com/blog/naked-streets-without-traffic-lights-improve-flow-and-safety/>>. Acesso em: 27 set. 2016.

MING, Sun Hsien. **Técnica de análise de conflitos**. Nota Técnica, nº 210. CET, São Paulo, 2001. Disponível em: <<http://www.cetsp.com.br/media/20791/nt%20210%20revisado.pdf>>. Acesso em: 03 nov. 2016.

MUELLER, Edward. **Aspects of the history of traffic signals**. Nova York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1970.

PASANEN, Eero. **Speed management in Helsinki**: Traffic planning division. Helsinki: Helsinki City Planning Department, 2004.

ORTOLANI, Giseli Aparecida. **Comparação do desempenho de dispositivos de interseções rodoviárias em nível utilizando simulador integration**. 2003, 100 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2003.

PIETRANTONIO, Hugo. **Manual de procedimentos de pesquisa para análise de conflitos de tráfego em interseções**. Seção de Engenharia de Tráfego e Transporte de Passageiros, IPT, São Paulo, 1991.

ROESS, Roger; PRASSAS, Elena; MCSHANE, William. **Traffic engineering**. 4. ed. New York, 2011.

SCHUSTER, Fernanda Pivato. **O uso adequado de rotatórias como agente redutor na acidentalidade no trânsito**. Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito, Brasília, 2013

SENNA, Luiz Afonso dos Santos. **Economia e planejamento dos transportes**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

STERN, Yvone et al. **Um estudo sobre o tráfego**: sincronização de sinais. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 1969.

SUMO-Wiki. Disponível em: <http://sumo.dlr.de/wiki/Main_Page>. Acesso em: 25 mai. 2017.

SUMO-Wiki. **Output**. Disponível em:<<http://sumo.dlr.de/wiki/Simulation/Output>>. Acesso em: 30 mai. 2017.

TRANSPORTATION RESEACH BOARD. **Highway capacity manual**. Washington, DC, 2010.

WEBSTER, F.V., e Cobe, B.M. **Traffic signals**. Road research technical paper nº 56. HMSO, Londres, 1966.

APÊNDICE A – PLANILHA DE CONTAGEM DO HORÁRIO DE PICO

Nesta primeira etapa, para descobrir o horário de pico, foi contabilizado o fluxo das 12 horas entre 6h e 18h utilizando a filmagem disponível em <https://camerite.com/>, que dá uma visão perfeita da primeira interseção do estudo.

TCC Procura Hora Pico

Arquivo

Editar

Visualizar

Inserir

Formatar

Dados

Ferramentas

Complementos

Ajuda

A última edição foi feita há 8 horas

R\$

%

0.00

123

-

Arial

-

10

-

B

<

Fonte: Autor (2017).

TCC Contagem de Veículos e Tempo das Fases

Arquivo

Editar

Visualizar

Inserir

Formatar

Dados

Ferramentas

Complementos

Ajuda

A última edição foi feita há 2 dias

R\$ % 0.00 123

Arial

10

B

I

U

A

fx

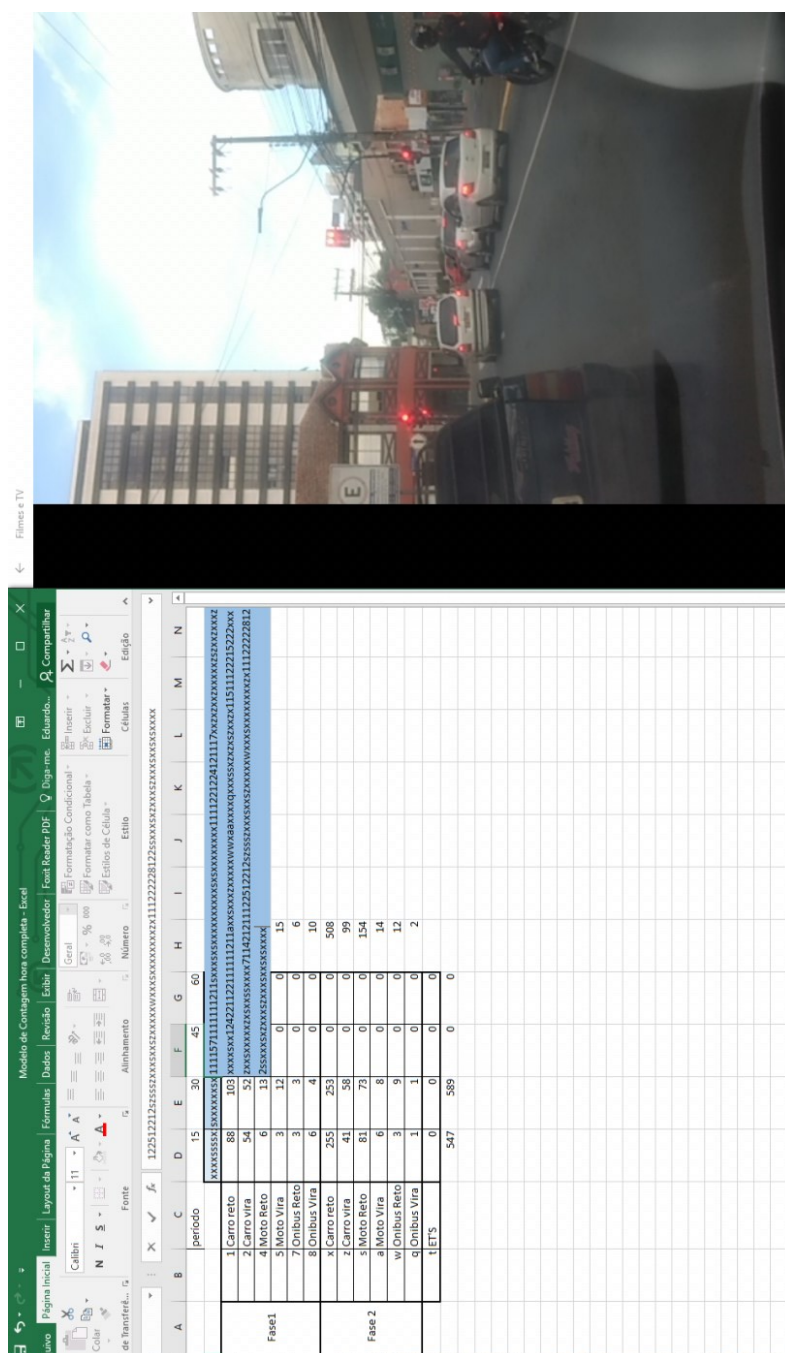
10/05/2017

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	10/05/2017		Aproximação JK					Aproximação 9 Março			
2	Período	Ciclo	Verde	Amarelo	Vermelho			Verde	Amarelo	Vermelho	
3	8:00 até 8:15	1	0:00:35	0:00:05	0:00:42			0:00:39	0:00:03	0:00:40	
4		2	0:00:55	0:00:04	0:00:44			0:00:40	0:00:04	0:00:59	
5		3	0:00:35	0:00:04	0:00:42			0:00:38	0:00:04	0:00:39	
6		4	0:00:34	0:00:04	0:00:43			0:00:39	0:00:04	0:00:38	
7		5	0:00:35	0:00:03	0:00:43			0:00:40	0:00:03	0:00:38	
8		6	0:00:34	0:00:03	0:00:44			0:00:41	0:00:03	0:00:37	
9		7	0:00:35	0:00:04	0:00:42			0:00:38	0:00:04	0:00:39	
10		8	0:00:36	0:00:04	0:00:44			0:00:40	0:00:04	0:00:40	
11		9	0:00:35	0:00:04	0:00:42			0:00:38	0:00:04	0:00:39	
12		10	0:00:34	0:00:03	0:00:41	Total:		0:00:38	0:00:03	0:00:37	Total:
13		11	0:00:35	0:00:04	0:00:43	0:15:15		0:00:39	0:00:04	0:00:39	0:15:15
14	8:15 até 8:30	12	0:00:36	0:00:04	0:00:42			0:00:38	0:00:04	0:00:40	
15		13	0:00:35	0:00:03	0:00:41			0:00:38	0:00:03	0:00:38	
16		14	0:00:35	0:00:04	0:00:42			0:00:38	0:00:04	0:00:39	
17		15	0:00:35	0:00:04	0:00:43			0:00:39	0:00:04	0:00:39	
18		16	0:00:34	0:00:04	0:00:42			0:00:38	0:00:04	0:00:38	
19		17	0:00:36	0:00:03	0:00:43			0:00:40	0:00:03	0:00:39	
20		18	0:00:34	0:00:04	0:00:42			0:00:38	0:00:04	0:00:38	
21		19	0:00:35	0:00:03	0:00:43			0:00:40	0:00:03	0:00:38	
22		20	0:00:35	0:00:04	0:00:42			0:00:38	0:00:04	0:00:39	
23		21	0:00:34	0:00:04	0:00:42	Total:		0:00:38	0:00:04	0:00:38	Total:
24		22	0:00:35	0:00:04	0:00:41	0:14:48		0:00:37	0:00:04	0:00:39	0:14:48
25	8:30 até 8:45	23	0:00:35	0:00:03	0:00:42			0:00:39	0:00:03	0:00:38	
26		24	0:00:36	0:00:04	0:00:41			0:00:37	0:00:04	0:00:40	
27		25	0:00:36	0:00:03	0:00:41			0:00:38	0:00:03	0:00:39	
28		26	0:00:34	0:00:04	0:00:42			0:00:38	0:00:04	0:00:38	
29		27	0:00:35	0:00:04	0:00:43			0:00:39	0:00:04	0:00:39	
30		28	0:00:35	0:00:04	0:00:42			0:00:38	0:00:04	0:00:39	
31		29	0:00:35	0:00:04	0:00:41			0:00:37	0:00:04	0:00:39	
32		30	0:00:34	0:00:04	0:00:43			0:00:39	0:00:04	0:00:38	
33		31	0:00:35	0:00:03	0:00:42			0:00:39	0:00:03	0:00:38	
34		32	0:00:33	0:00:04	0:00:43			0:00:39	0:00:04	0:00:37	
35		33	0								

Fonte: Autor (2017).

APÊNDICE C – MÉTODO DE CONTAGEM DE VEÍCULOS

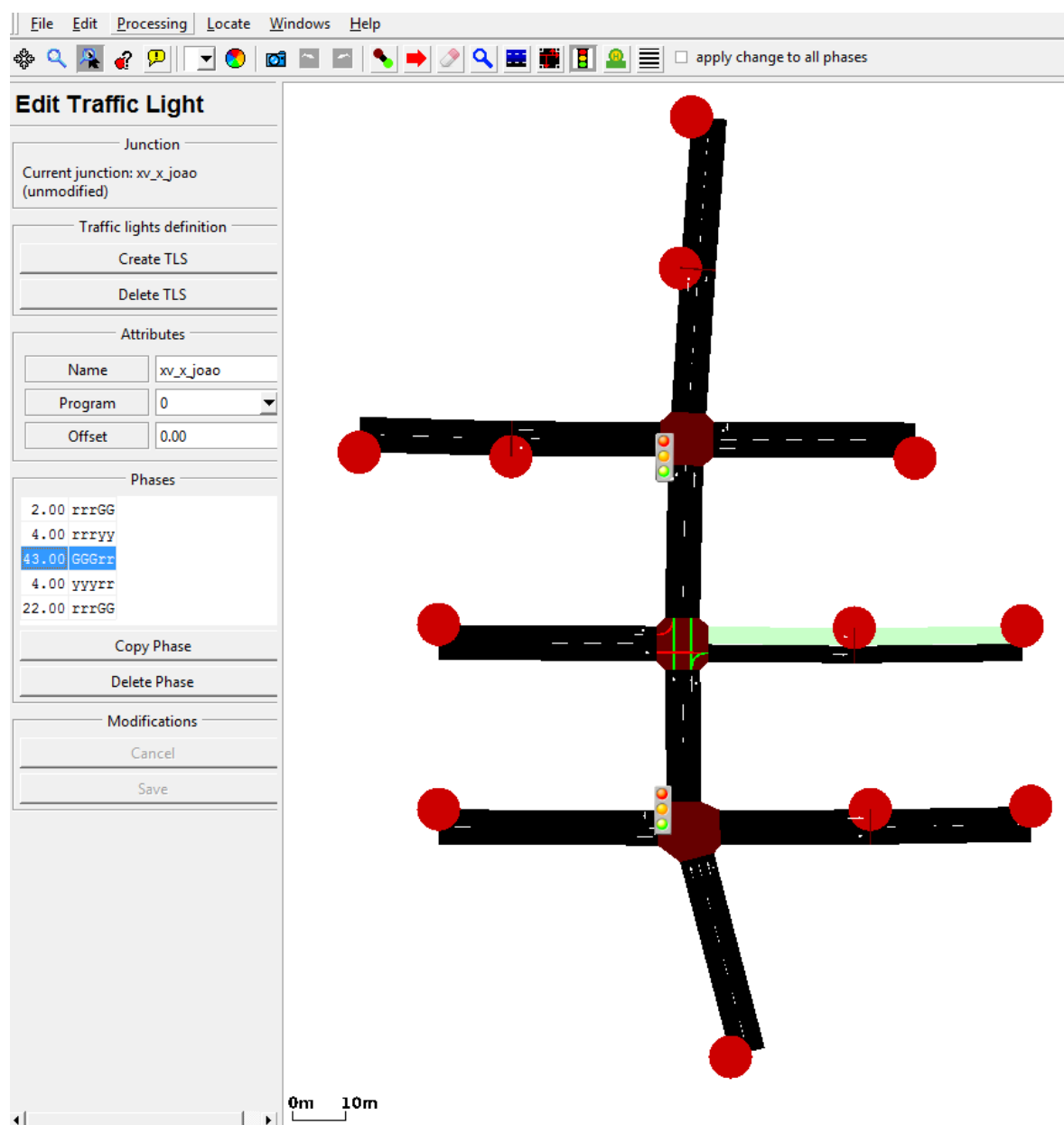
Nas interseções onde não haviam câmeras urbanas, foi necessário realizar filmagens do local. Para realizar a contagem, o vídeo era posta lado a lado com a planilha de contagem e, ao passar um carro, moto ou ônibus, uma tecla pré configurada era pressionada e assim contabilizado o veículo.



Fonte: Autor (2017).

APÊNDICE D – REDE CRIADA NO SOFTWARE NETedit

Para gerar o efeito de defasagem de 6 segundos, faz-se o semáforo da aproximação 2 iniciar aberto por 2 segundos, seguido por 4 segundos de amarelo. Após esse tempo, inicia o verde da aproximação 1 por 43 segundos, seguido do amarelo por 4 segundos. Ao retornar ao verde da aproximação 2, ele funciona por 22 + 2 segundos, totalizando os 24 segundos que foram dimensionados pelo método de Webster.



Fonte: Autor (2017).

APÊNDICE E – CONFIGURAÇÃO DO ARQUIVO DE ROTAS

Abaixo a configuração de rotas para o período da manhã, sempre lembrando que todo o fluxo da rede deve ser criado no início de cada rua.

```
</routes>
  <vType accel="2.0" decel="5.5" id="carro" vClass="passenger" length="4.0" minGap="2.5" maxSpeed="16.5" sigma="0.5" {

  <!--ROTAS JK-->
  <route id="route1" edges="jk_rua joao_rua xv_rua2 xv_traffic"/> <!--JK -> João -> XV-->
  <route id="route2" edges="jk_rua joao_rua joao_rua2 princesa_rua2 princesa_traffic"/> <!--JK -> João -> Princesa-->
  <route id="route3" edges="jk_rua joao_rua joao_rua2 joao_rua3 joao_traffic"/> <!--JK -> João-->

  <!--ROTAS 9 de MARÇO-->
  <route id="route4" edges="9mar_rua 9mar_rua2 9mar_traffic"/> <!--Continua na 9mar-->
  <route id="route5" edges="9mar_rua joao_rua xv_rua2 xv_traffic"/> <!--9mar -> João -> XV-->
  <route id="route6" edges="9mar_rua joao_rua joao_rua2 princesa_rua2 princesa_traffic"/> <!--9mar -> João -> Princesa-->
  <route id="route7" edges="9mar_rua joao_rua joao_rua2 joao_rua3 joao_traffic"/> <!--9mar -> João-->

  <!--ROTAS XV DE NOVENBRO-->
  <route id="route8" edges="xv_rua xv_rua2 xv_traffic"/> <!--Continua na XV-->
  <route id="route9" edges="xv_rua joao_rua2 princesa_rua2 princesa_traffic"/> <!--JK -> João -> Princesa-->
  <route id="route10" edges="xv_rua joao_rua2 joao_rua3 joao_traffic"/> <!--XV -> João-->

  <!--ROTAS PRINCESA ISABEL-->
  <route id="route11" edges="princesa_rua princesa_rua2 princesa_traffic"/> <!--Continua na Princesa-->
  <route id="route12" edges="princesa_rua joao_rua3 joao_traffic"/> <!--Princesa - João-->

  <!--ROTAS JK, 26% reto-->
  <flow type="carro" id="Carro1" begin="0" probability="0.02" route="route1" departLane="random"/> <!--JK -> João -> XV-->
  <flow type="carro" id="Carro2" begin="0" probability="0.03" route="route2" departLane="random"/> <!--JK -> João -> Pri
  <flow type="carro" id="Carro3" begin="0" probability="0.21" route="route3" departLane="random"/> <!--JK -> João-->

  <!--ROTAS 9 de MARÇO, 12% reto, 5% vira-->
  <flow type="carro" id="Carro4" begin="0" probability="0.12" route="route4" departLane="random"/> <!--Continua na 9mar-->
  <flow type="carro" id="Carro5" begin="0" probability="0.01" route="route5" departLane="random"/> <!--9mar -> João -> XV
  <flow type="carro" id="Carro6" begin="0" probability="0.01" route="route6" departLane="random"/> <!--9mar -> João -> Pr
  <flow type="carro" id="Carro7" begin="0" probability="0.03" route="route7" departLane="random"/> <!--9mar -> João-->

  <!--ROTAS XV DE NOVENBRO, 10% reto, 9% vira-->
  <flow type="carro" id="Carro8" begin="0" probability="0.10" route="route8" departLane="random"/> <!--Continua na XV-->
  <flow type="carro" id="Carro9" begin="0" probability="0.01" route="route9" departLane="random"/> <!--XV -> João -> Prin
  <flow type="carro" id="Carro10" begin="0" probability="0.08" route="route10" departLane="random"/> <!--XV -> João-->

  <!--ROTAS PRINCESA ISABEL, 12% reto, 8% vira-->
  <flow type="carro" id="Carro11" begin="0" probability="0.12" route="route11" departLane="random"/> <!--Continua na Prin
  <flow type="carro" id="Carro12" begin="0" probability="0.08" route="route12" departLane="random"/> <!--Princesa - João--

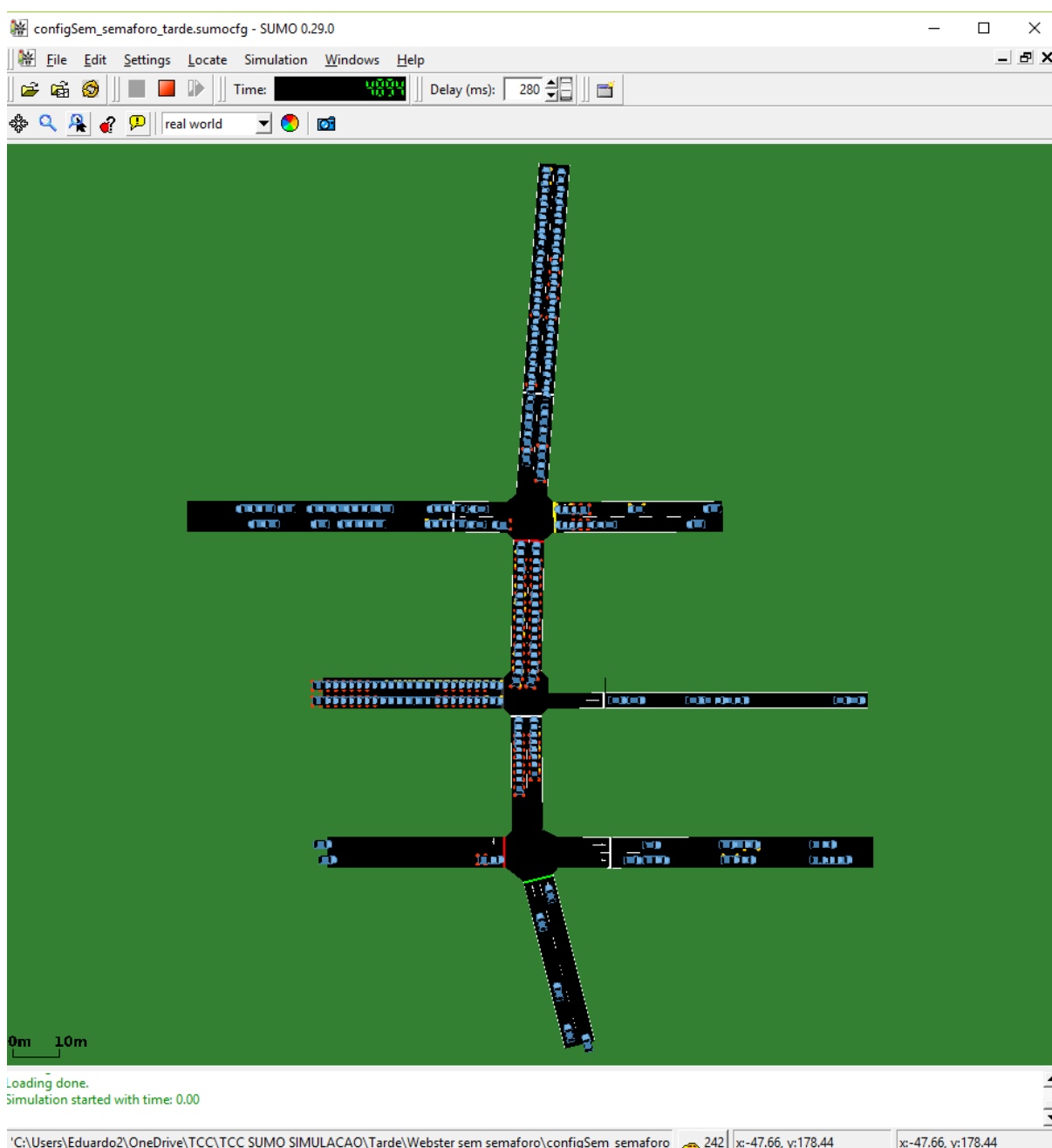
  <!--
  João -> João      = 32%
  João -> XV        = 3%
  João -> Princesa = 5%
  -->

</routes>
```

Fonte: Autor (2017).

APÊNDICE F – SUMO EM EXECUÇÃO NO PERÍODO DA TARDE

Na imagem o software SUMO está em execução para o período da tarde no cenário em que foi removido o semáforo da segunda interseção.



Fonte: Autor (2017).